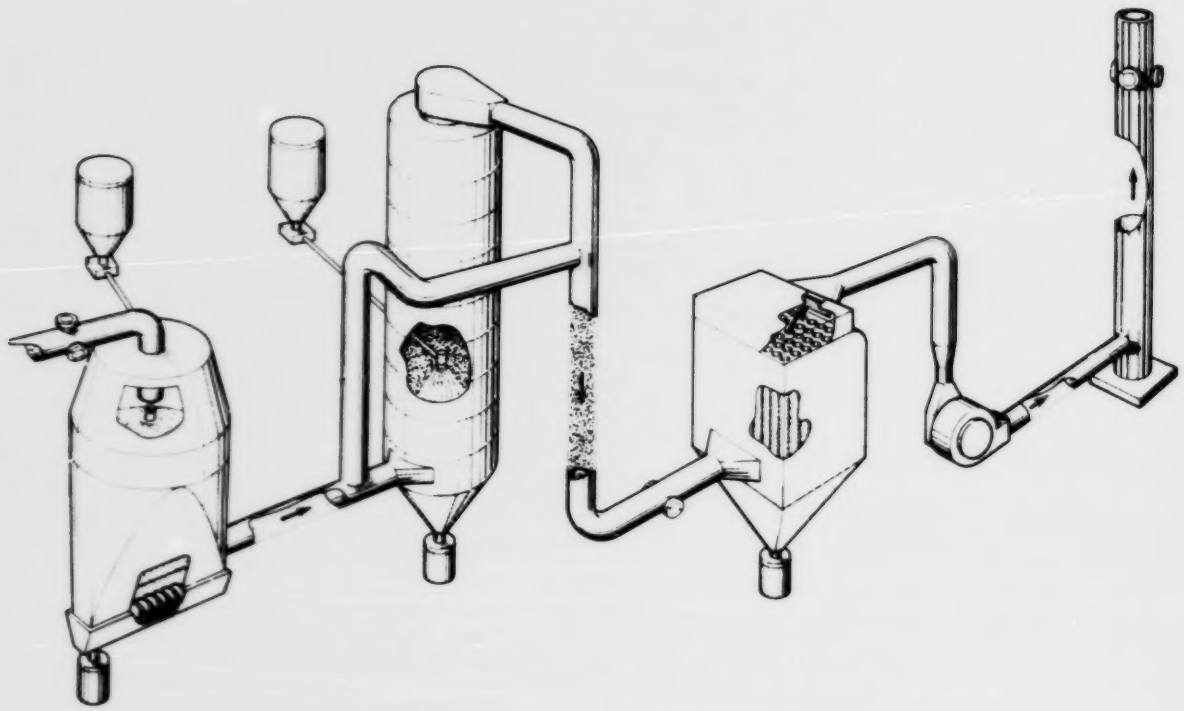
Le programme national d'essais et d'évaluation des incinérateurs : Sommaire des techniques de dépollution des gaz de combustion

Rapport SPE 3/UP/2F
Septembre 1986



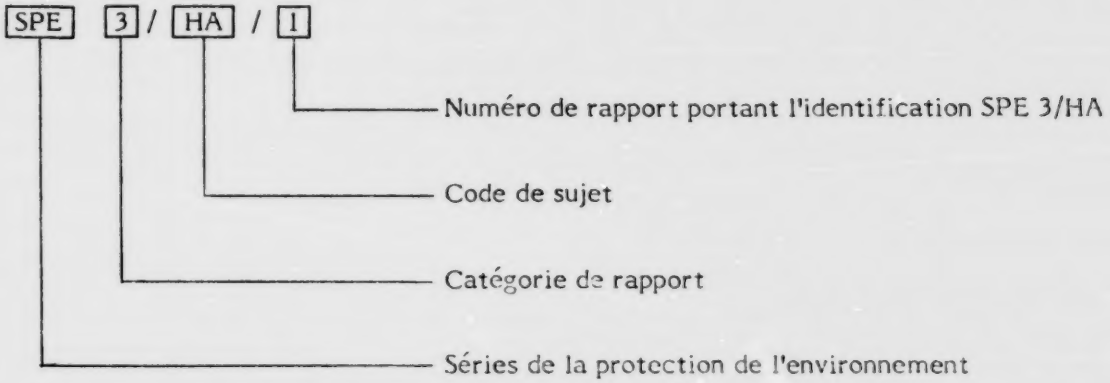
Environnement Canada
Environment Canada

Canada

87-01787/

SÉRIES DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Exemple de numérotage:



Catégories

1	Règlements/Lignes directrices/ Codes de procédure
2	Évaluation des problèmes et options de contrôle
3	Recherche et développement technologique
4	Revues de la documentation
5	Relevés
6	Évaluations des impacts sur l'environnement
7	Surveillance
8	Propositions, analyses et énoncés de principes généraux
9	Guides

Sujets

AG	Agriculture
AP	Polluants atmosphériques
AT	Toxicité aquatique
CC	Produits chimiques commerciaux
CE	Consommateurs et l'environnement
FP	Traitement des aliments
HA	Déchets dangereux
IC	Chimie inorganique
MA	Pollution marine
MM	Exploitation minière et traitement des minéraux
NR	Régions du Nord
PF	Papier et fibres
PG	Production de l'électricité
PN	Pétrole et gaz naturel
SP	Déversements de pétrole et de produits chimiques
SRM	Méthodes de référence normalisées
TS	Transports
UP	Pollution urbaine

Sujets et codes additionels sont introduits au besoin. Une liste de rapports du SPE peut être obtenue en s'adressant aux Publications de la protection de l'environnement, Conservation et Protection, Environnement Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0E7.

LE PROGRAMME NATIONAL D'ESSAIS ET D'ÉVALUATION DES INCINÉRATEURS: SOMMAIRE DES TECHNIQUES DE DÉPOLLUTION DES GAZ DE COMBUSTION

Programme réalisé conjointement par:
Flakt Canada Ltd.
et
Environnement Canada

Rapport SPE 3/UP/2
Septembre 1986

Publication distribuée par la Section des publications
Conservation et Protection
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0E7

English copy available at the above mentioned address

Traduction française de
The National Incinerator Testing and Evaluation Program: Air Pollution Control Technology. Summary Report
effectuée par la Section Environnement de la Direction du Québec,
Bureau des traductions

Édition française
préparée par le Module d'édition française, Conservation et Protection,
Environnement Canada

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1986
N° de cat. En 49-8/3-2F
ISBN 0-662-53938-7
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

AVIS D'EXAMEN

Le présent rapport a été examiné par la Direction générale de la protection de l'environnement, Conservation et Protection, et approuvé pour publication. Cette approbation ne signifie pas nécessairement que le contenu reflète les vues et politiques d'Environnement Canada. La mention de marques de commerce et de produits commerciaux n'en constitue pas une recommandation ou un endossement.

COMMENTAIRES

Les lecteurs qui désirent faire des commentaires sur le contenu du présent rapport doivent les adresser à:

M. R. Klicius ou M. A. Finkelstein
Direction des programmes industriels
Direction générale de la protection de l'environnement
Conservation et Protection
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0E7

RÉSUMÉ

Environnement Canada a réalisé avec la collaboration de Flakt Canada Ltd., un programme détaillé d'essais sur deux systèmes-pilotes de dépollution. Ces essais étaient destinés à déterminer l'efficacité de ces systèmes pour éliminer les émissions atmosphériques de dioxines, d'autres composés organiques présents à l'état de traces, de métaux et de gaz acides. Les essais ont été réalisés en août et septembre 1985. Deux procédés différents ont été employés: l'un par voie humide et sèche, avec pulvérisation et séchage dans un réacteur, et l'autre, par voie sèche, faisant appel à un réacteur. Dans les deux cas, un filtre en tissu suivait le réacteur. Les systèmes ont été conçus par Flakt Canada Ltd. et installés près de l'usine d'incinération de déchets non conditionnés de la ville de Québec.

Les essais ont été effectués dans de nombreuses conditions de fonctionnement différentes afin de déterminer le meilleur rendement d'élimination de chacun des polluants visés par l'étude. Les résultats finals ont été très concluants. On a constaté que la température des gaz de combustion constituait une importante variable d'opération, permettant d'obtenir une élimination élevée d'une grande partie des polluants mesurés. Certaines conditions de fonctionnement bien définies ont permis d'éliminer des pourcentages très élevés de polluants: plus de 99 p. 100 des dioxines et des furannes, plus de 98 p. 100 d'autres composés organiques présents à l'état de traces, et plus de 99,9 p. 100 des métaux lourds, y compris l'arsenic et le plomb et jusqu'à 97 p. 100 du mercure. Dans le cas des gaz acides, c'est-à-dire du chlorure d'hydrogène et de l'anhydride sulfureux, le rendement a été également excellent (plus de 95 p. 100).

ABSTRACT

Environment Canada, through a joint program with Flakt Canada Ltd., conducted a series of comprehensive tests on two pilot-scale air pollution control systems. The tests were designed to determine the capability of these systems to control emissions of dioxins, other trace organics, metals and acid gases. Field testing was completed in August/September 1985, for two different designs: one using a wet-dry scrubber (spray-dryer) plus fabric filter and the other using a dry scrubber plus fabric filter. The systems were designed by Flakt Canada Ltd. and were erected adjacent to the mass burning incinerator in Quebec City.

Many different operating conditions were tested to identify optimum removal efficiencies for all pollutants of concern. Final results were very significant. Flue gas temperature was found to be an important operating variable for achieving high removal efficiency for many of the pollutants measured. Appropriate operating conditions were identified to obtain extremely high removal efficiencies for dioxins and furans (>99%), other trace organics (>98%), heavy metals, including arsenic and lead (>99.9%) and up to 97% for mercury. Excellent removal (>95%) was also obtained for acid gases, i.e. hydrogen chloride and sulphur dioxide.

TABLE DES MATIÈRES

Résumé		V
Abstract		VI
Liste des figures		IX
Liste des tableaux		XI
Remerciements		XIII
1	INTRODUCTION	1
2	DESCRIPTION DE L'INCINÉRATEUR	4
3	DESCRIPTION DE L'USINE-PILOTE	7
3.1	Procédés d'épuration	7
3.2	Plan de l'usine	9
3.3	Éléments de l'usine-pilote	9
3.3.1	Système par voie sèche	10
3.3.2	Système par voie humide-sèche	12
3.3.3	Filtre en tissu	12
3.3.4	Réglage de l'opération	12
4	PROTOCOLES D'ÉCHANTILLONNAGE ET D'ANALYSE	13
4.1	Considérations relatives au programme d'essais	13
4.2	Échantillonnage manuel	14
4.3	Appareils de mesure des gaz en continu	17
4.4	Données sur le procédé et échantillons de cendres	19
4.5	Méthodes d'analyse	20
4.5.1	Composés organiques	20
4.5.2	Métaux	22
4.5.3	Chlore	23
4.5.4	Tests de percolation	23
4.6	Contrôle de la qualité	23
5	DESCRIPTION DU PROGRAMME D'ESSAIS	27
5.1	Essais de caractérisation	27
5.2	Résultats des essais de caractérisation	30
5.3	Choix des conditions des essais de performance	31
6	RÉSULTATS DES ESSAIS DE PERFORMANCE	34
6.1	Comparaison des résultats des paires d'essais	34
6.2	Moyennes des conditions expérimentales	35

6.2.1	Données d'opération de l'incinérateur et de l'usine-pilote	35
7	DIOXINES ET FURANNES	47
7.1	Dioxines dans les gaz de combustion	47
7.2	Furannes dans les gaz de combustion	49
7.3	Dioxines dans les cendres des trémies	52
7.4	Furannes dans les cendres des trémies	57
8	AUTRES COMPOSÉS ORGANIQUES	60
8.1	Autres composés dans les gaz de combustion	60
8.2	Autres composés dans les cendres des trémies	61
9	MÉTAUX	
9.1	Métaux dans les gaz de combustion	64
9.2	Métaux dans les cendres des trémies	65
10	ÉMISSIONS ACIDES	69
10.1	Variations caractéristiques du HCl et du SO_2	69
10.2	Gaz acides et rendement de l'élimination	69
10.3	Rapport stoechiométrique et taux de chaulage	72
10.4	Effet du recyclage des cendres	75
11	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	76
11.1	Conclusions	76
11.2	Recommandations	77
Références		79
Annexe:	Symboles, abréviations et homologues des dibenzodioxines et des dibenzofurannes polychlorés	81
Glossaire		88

LISTE DES FIGURES

1	Schéma en coupe de l'incinérateur de Québec	5
2	Éléments principaux de l'usine-pilote Flakt	9
3	Dispositif de dérivation des gaz de combustion	10
4	Système par voie sèche Flakt	11
5	Système par voie humide-sèche Flakt	11
6	Montages d'échantillonnage	15
7	Organigramme d'échantillonnage et d'analyse des composés organiques	21
8	Paramètres mesurés lors des essais de caractérisation	28
9	Paramètres mesurés lors des essais de performance	32
10	Résultats des essais de performance - système par voie sèche, 110 °C (EP-12 et 13)	36
11	Résultats des essais de performance - système par voie sèche, 125 °C (EP-3 et 4)	37
12	Résultats des essais de performance - système par voie sèche, 140 °C (EP-2 et 11)	38
13	Résultats des essais de performance - système par voie sèche, >200 °C (EP-5 et 6)	39
14	Résultats des essais de performance - système par voie humide-sèche, 140 °C, sans recyclage (EP-7 et 8)	40
15	Résultats des essais de performance - système par voie humide-sèche, 140 °C, avec recyclage (EP-9 et 10)	41
16	Concentrations de DDPC dans les gaz de combustion	48
17	Distribution des homologues de DDPC dans les gaz de combustion	50
18	Concentrations de DFPC dans les gaz de combustion	51
19	Distribution des homologues de DFPC dans les gaz de combustion	53
20	Concentrations de DDPC dans les cendres des trémies	55
21	Distribution des homologues des DDPC dans les cendres	56

22	Concentrations de DFPC dans les cendres des trémies	58
23	Distribution des homologues de DFPC dans les cendres des trémies	59
24	Concentration de CB, CP, BPC et HAP dans les gaz de combustion	61
25	Concentration de CB, CP, BPC et HAP dans les cendres des trémies	63
26	Métaux dans les cendres des trémies	66
27	Variations générales du HCl et du SO_2 durant les essais de performance	70
28	Taux d'élimination du HCl et du SO_2 en fonction du rapport stoechiométrique à différentes températures du procédé d'épuration par voie sèche	73
29	Élimination du SO_2 en fonction de la température pour différents rapports stoechiométriques	74
30	Élimination du HCl et du SO_2 en fonction du rapport stoechiométrique, avec et sans recyclage	75

LISTE DES TABLEAUX

1	Analyseurs des gaz en continu	18
2	Résumé des conditions des essais de caractérisation	27
3	Choix des conditions des essais de performance	31
4	Résumé des conditions des essais de performance	34
5	Résumé des principaux paramètres de fonctionnement	42
6	Débit des gaz de combustion	43
7	Composition des gaz de combustion à la sortie	44
8	Concentrations des particules à l'entrée	45
9	Proportion des cendres recueillies dans chaque récipient	46
10	Concentrations de DDPC dans les gaz de combustion et rendement de l'épuration	47
11	Concentrations de DFPC dans les gaz de combustion et rendement de l'épuration	51
12	Concentrations de DDPC dans les cendres	54
13	Concentrations de DFPC dans les cendres	57
14	Taux d'élimination des autres composés organiques	60
15	Concentrations des métaux à l'entrée et à la sortie	64
16	Concentrations des métaux dans la chaux et dans les cendres des trémies	67
17	Concentrations de HCl et rendement de l'élimination	71
18	Concentrations de SO_2 et rendement de l'élimination	71

REMERCIEMENTS

Nous désirons remercier tous ceux qui ont participé à l'évaluation des deux méthodes pilotes de dépollution des émissions d'un incinérateur municipal. Le programme a été proposé et mis en oeuvre par Flakt Canada Ltd., et entrepris avec la collaboration d'Environnement Canada dans le cadre de son Programme d'essais et d'évaluation national des incinérateurs (PEENI). Nous sommes particulièrement reconnaissants envers M. Hervé Aubin, Directeur du génie à la Communauté urbaine de Québec et Montenay Inc., l'exploitant de l'incinérateur, de leur collaboration et de leur aide. Plus de 30 ingénieurs, chimistes et techniciens ont oeuvré sur place, tandis que des dizaines d'autres ont travaillé dans les laboratoires; sans leurs efforts et leur détermination, cette entreprise n'aurait pu connaître le succès.

Comme il serait impossible de reconnaître ici la contribution de chacun, nous nous limiterons à remercier les organisations suivantes:

Entrepreneur
- Flakt Canada Ltd.
- Flakt Industri AB (Suède)

Sous-traitants
- IMET, Independant Measurement and Technology Inc.
- Concord Scientific Corp.
- Arthur Gordon Expertises en Environnement Ltée
- Novalab Ltée
- IEC Beak Consultants Ltd.
- Barringer-Magenta Ltd.

Organismes publics
- Communauté urbaine de Québec (CUQ)
- Ministère de l'Environnement du Québec (MENVQ)
- Ministère de l'Environnement de l'Ontario (MOE)
- Approvisionnement et Services Canada (ASC)
- Environnement Canada (EC)
  - Division des activités urbaines (DAU)
  - Division de la mesure de la pollution (DMP)
  - Division des services d'analyse (DSA)
  - Centre technique des eaux usées (CTEU)

Le financement du projet a été fourni par Flakt Canada Ltd., par Environnement Canada et par Énergie, Mines et Ressources Canada, ainsi que par le Programme des propositions spontanées du Gouvernement canadien. En outre, le ministère de l'Environnement de l'Ontario a financé la majeure partie d'un programme de contrôle et de garantie de la qualité, et Environnement Québec a fourni du personnel de soutien et des fournitures pour l'échantillonnage.

M. Larry Marentette
Flakt Canada Ltd.
Gérant de projet

M. Raymond Klicius
Environnement Canada
Conseiller scientifique

1 INTRODUCTION

Au Canada, les systèmes de collecte et de transport des déchets solides générés par les activités humaines sont généralement adéquats, même s'il est possible d'accroître les possibilités de recyclage. À l'inverse, les méthodes d'élimination continuent de constituer un grave problème dans de nombreuses régions du Canada. Parmi ces méthodes, l'incinération a récemment attiré l'attention. La complexité et le coût croissants de l'enfouissement des ordures ménagères, de même que la difficulté de trouver de nouvelles décharges, ont forcé les municipalités à envisager sérieusement l'adoption d'usines d'incinération à valorisation énergétique. Ces installations offrent deux avantages importants: une réduction sensible du volume des déchets à éliminer et une possibilité de revenus par la vente de l'énergie générée. L'incinération peut réduire le volume des déchets à enfouir dans une proportion allant jusqu'à 90 p. 100, prolongeant ainsi la vie des décharges actuelles et réduisant le besoin de nouvelles. Par ailleurs, l'énergie produite par la combustion des déchets solides des municipalités constitue une source de revenus pour le propriétaire et diminue le besoin de combustibles importés.

Les effets des émissions sur l'environnement et la santé des usines de valorisation énergétique existantes et projetées soulèvent toutefois des inquiétudes. Ces inquiétudes et celles exprimées par le Comité consultatif d'experts sur les dioxines (ministres de Santé et Bien-être social Canada et d'Environnement Canada), qui a identifié l'incinération des ordures comme une source importante et *contrôlable* d'émissions atmosphériques de dioxines[1], ont suscité la mise au point d'un plan d'action.

Le plan d'action s'est attaché à deux recommandations clés du Comité: (*a*) l'intensification des efforts pour trouver le meilleur type d'incinérateur et les conditions optimales de fonctionnement des incinérateurs municipaux et industriels afin de réduire la production et l'émission de dioxines: (*b*) la caractérisation des meilleures techniques d'incinération existantes au Canada par le biais d'un programme de surveillance de l'environnement. Suite à ces deux recommandations, le ministère de l'Environnement a créé le Programme national d'essais et d'évaluation des incinérateurs (PEENI). En trois ans, le PEENI étudiera trois modèles d'incinérateurs les plus courants, évaluera les nouveaux ajouts antipollution et envisagera les nouveaux modes d'incinération. On cherchera à relier les conditions de combustion à l'émission de composés organiques (dioxines, furannes, etc.) et inorganiques (métaux et gaz acides) à l'état de traces. En ce qui a trait aux incinérateurs, on tentera de trouver le "créneau d'opération" donnant lieu à une combustion dans des conditions optimales et permettant de réduire ou d'éliminer les

émissions polluantes. De même, on évalue actuellement la conception et les caractéristiques de fonctionnement de divers dispositifs antipollution pour accroître la dépollution des gaz de combustion.

Afin de relier les conditions de combustion aux émissions, on a choisi d'étudier trois types d'incinérateurs, correspondant à l'évolution prévue de la technologie: un incinérateur à combustion en deux étapes, un incinérateur à combustion en masse et un incinérateur à combustion d'ordures conditionnées. La première étude, portant sur l'installation d'incinération à combustion en deux étapes de Parkdale à l'Île-du-Prince-Édouard, a été achevée au début de 1985, et un rapport préliminaire a été publié en septembre 1985[2].

Le quatrième volet du PEENI est une évaluation en conditions réelles de deux systèmes particuliers d'épuration des gaz, à l'aide d'un programme d'essais conçu par Flakt Canada Ltd. Ce volet fait l'objet du présent rapport.

La littérature[3] indique des écarts marqués dans la qualité des émissions provenant des incinérateurs de déchets solides municipaux. Bien que les installations modernes bien exploitées soient généralement beaucoup moins polluantes que les anciennes ou celles qui sont mal exploitées, le rôle des mesures antipollution qui y sont utilisées n'a pas été clairement démontré. Ces mesures jouent un rôle important de dépollution, mais il y a peu de données établissant leurs possibilités.

Plusieurs procédés industriels et d'installations publiques ont fait la preuve que divers dispositifs d'épuration par voie humide et par voie sèche, employés généralement en série avec des filtres en tissu ou des électrofiltres, peuvent réduire les émissions de gaz acides et de métaux. Récemment, la communauté scientifique a escompté une réduction analogue des émissions de composés organiques, telles les dioxines, provenant des incinérateurs, avec les mêmes dispositifs, à condition que des conditions d'exploitation appropriées soient maintenues[4, 5]. Des tests effectués récemment au Danemark à échelle réduite semblent témoigner en faveur de cette hypothèse[6]. Cependant, il n'y a encore eu aucune évaluation de l'efficacité de ces dispositifs contre les émissions polluantes des incinérateurs, en particulier les composés organiques à l'état de traces, par un programme complet d'essais pilotes ou en grandeur réelle.

Le programme d'essais établi par Environnement Canada et Flakt Canada Ltd. avait pour objectif d'évaluer l'efficacité de deux dispositifs antipollution contre les particules, les gaz acides, les métaux lourds et particulièrement les composés organiques à l'état de traces, comme les dioxines, et à établir les conditions d'exploitation optimales pour l'élimination de ces produits.

Le présent rapport porte sur les principaux résultats, conclusions et recommandations. Des publications séparées contenant le rapport principal, les méthodes, les données, l'examen du programme indépendant de contrôle de la qualité du ministère de l'Environnement de l'Ontario et une description du travail sur le percolat des cendres réalisé par le Centre technique des eaux usées sont disponibles à la Direction des programmes industriels à l'adresse indiquée au début du présent rapport.

2 DESCRIPTION DE L'INCINÉRATEUR

L'usine d'incinération municipale de Québec, qui a servi à nos essais, a été conçue au début des années 70 pour l'incinération en masse de déchets solides non conditionnés dans un foyer à écran d'eau. L'usine est dotée de chaudières de récupération qui transforment la chaleur des gaz de carneau en vapeur. L'usine d'incinération appartient à la Communauté urbaine de Québec (CUQ) et se trouve dans un parc industriel de la ville, à proximité de zones résidentielles et commerciales. Elle reçoit des ordures ménagères et commerciales, ainsi que certains déchets solides industriels provenant de la CUQ ou de plusieurs autres municipalités et d'entrepreneurs privés. Toute la vapeur produite par l'usine est vendue à la Reed Paper Ltée. Le contrat de vente stipule que la vapeur doit être livrée à débit constant (± 7 p. 100) et dans une gamme de pressions précisée. Montenay Inc. exploite l'installation en vertu d'un contrat qui prévoit également la responsabilité de tout l'entretien et de la vérification.

Les principaux éléments de l'installation (figure 1) sont la fosse de réception des ordures dotée d'un pont roulant; quatre incinérateurs d'une capacité nominale de 227 t/d chacun; une fosse commune de stockage des cendres et machefers munie d'un pont roulant; une cheminée commune. Chaque incinérateur se compose d'une trémie d'alimentation vibrante, d'une chute, de grilles de séchage, d'incinération et de finition, d'un four d'incinération à parois réfractaires, d'une chaudière supérieure à écran d'eau partiel, d'une chaudière de récupération de la chaleur avec surchauffeur et économiseur, d'un électrofiltre à deux champs, d'un ventilateur de tirage induit, ainsi que d'un système d'extinction-extraction des cendres et machefers.

Deux des unités d'incinération sont entrées en fonction en 1974, et les quatres fonctionnent depuis 1975. Les unités sont dotées de grilles et de fours Von-Roll et de chaudières Dominion Bridge. Chaque unité peut fonctionner indépendamment, à une capacité nominale de 37 000 kg/h de vapeur produite à partir de 227 t/d de déchets d'une capacité calorifique de 13 950 kJ/kg.

Les grilles se divisent en trois sections commandées séparément. La vitesse de chaque section est commandée manuellement et les grilles sont inclinées à 15°. Il s'agit, dans l'ordre, des grilles de séchage, d'incinération et de finition. Sous les grilles, on trouve des trémies qui reçoivent les matières passant entre les barreaux et les déversent par des chutes dans la cuve d'extinction des cendres et machefers. Les chutes arrivent sous le niveau d'eau de la cuve, ce qui prévient les infiltrations d'air dans le foyer.

L'air primaire est acheminé à cinq endroits situés sous les grilles et distribué de sorte que 70 p. 100 de l'air atteignent la grille d'incinération, 30 p. 100, la grille de finition, et 0 p. 100, la grille de séchage. Le débit de tout l'air primaire est relié automatiquement à celui de la vapeur (il augmente lorsque la production de vapeur est inférieure à la norme et diminue lorsque celle-ci est trop élevée). Le débit de l'air secondaire est réglé manuellement; il arrive par 20 buses dans l'arc refroidi à l'eau. L'air primaire et l'air secondaire proviennent tous deux de la fosse de réception des ordures.

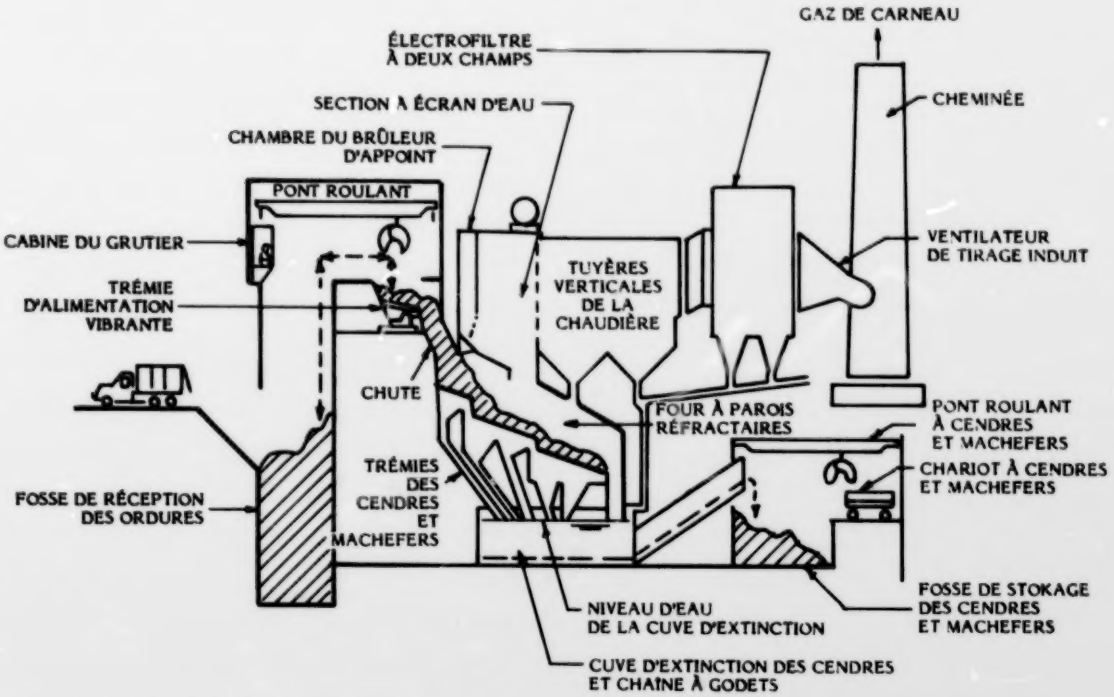


FIGURE 1 SCHÉMA EN COUPE DE L'INCINÉRATEUR DE QUÉBEC

Les gaz qui s'échappent des sections des chaudières passent dans un électrofiltre à deux champs par un court carneau de transition contenant une plaque de distribution perforée. À la sortie du précipitateur, les gaz sont aspirés par un ventilateur de tirage induit et arrivent dans une cheminée à carneau unique, commune aux quatre incinérateurs.

Le tableau de commande de l'usine indique les conditions de l'opération et comprend les indicateurs et les commandes pour l'ensemble de l'usine, comme la vapeur

totale dans l'usine et la vapeur totale exportée, de même que des enregistreurs d'oxygène et des lecteurs de l'opacité pour chacun des incinérateurs. Quatre tableaux distincts affichent la marche de l'opération et portent les commandes de chaque unité.

Les cendres et machefers de l'incinération, qui sont soit tombés des grilles, soit déversés au bout de la grille de finition, arrivent dans la cuve d'extinction remplie d'eau. Les cendres volantes, issues de la trémie de l'évaporateur-économiseur et des trémies du précipitateur, sont transportées par un convoyeur en vrac à la cuve d'extinction. Les cendres et machefers qui se déposent au fond de la cuve sont acheminés par une chaîne à godets sur une rampe d'où une partie de l'eau retombe dans la cuve. À l'extrémité du plan incliné, les cendres et les machefers tombent dans une fosse de stockage, d'où un pont roulant les déverse dans un camion qui les transporte à la décharge. On trouvera une description plus poussée de l'incinérateur et de son fonctionnement dans le rapport détaillé du programme (Volume II).

C'est l'incinérateur nº 3 qui a servi aux essais. On n'y a apporté aucune modification, à l'exception de l'ajout d'une conduite qui a servi au prélèvement des gaz avant leur passage dans l'électrofiltre servant à la dépollution de l'effluent gazeux.

3 DESCRIPTION DE L'USINE-PILOTE

3.1 Procédés d'épuration

L'usine-pilote de Flakt Canada Ltd. utilise la technique d'épuration mise au point pour la désulfuration des gaz de combustion, qui est utilisée couramment pour l'élimination du SO_2 dans les combustibles fossiles. Trois méthodes peuvent être utilisées pour épurer les gaz de combustion.

L'épuration par voie humide est le procédé classique qui met en contact les gaz chauds de combustion avec une solution aqueuse généralement dans un récipient cylindrique. Les produits du procédé sont un effluent de liquide épuisé provenant du fond du récipient, et un gaz humide propre dans la partie supérieure. À cause de l'inconvénient de devoir éliminer un effluent liquide et de mauvaises expériences en Europe, ce prodécé de nettoyage n'a pas été évalué dans cette étude.

L'épuration par voie sèche nécessite un refroidissement partiel des gaz de combustion, qui sont ensuite mis en contact avec une poudre chimique sèche dans un récipient. Pour éliminer le SO_2 des gaz, on utilise un composé alcalin, comme la chaux hydratée, avec lequel il réagit. Les produits de la réaction sont secs et faciles à recueillir avec les cendres volantes dans un filtre en tissu ou un électrofiltre, par exemple. L'absence d'effluent liquide et la corrosion réduite de l'équipement sont deux avantages de ce procédé. L'épuration par voie sèche est une des techniques évaluées dans l'étude. Le récipient utilisé pour faire réagir la chaux en poudre avec les gaz s'appelle ici "épurateur sec".

L'épuration par voie humide-sèche combine les deux procédés déjà mentionnés: les gaz chauds sont mis en contact dans un récipient avec une solution aqueuse (bouillie) d'un produit comme la chaux hydratée. La principale différence tient au fait que la proportion de solvant (eau) par rapport au gaz de combustion est rigoureusement fixée, afin que toute l'eau s'évapore et que la chaux dissoute forme une fine suspension dans le gaz. Comme dans l'épuration par voie sèche, tous les produits de réaction sont secs à la sortie du récipient et les particules sont recueillies avec un filtre en tissu ou un électrofiltre. Le récipient utilisé pour ce procédé est appelé ici "épurateur humide-sec".

Pour refroidir partiellement les gaz de combustion lors de l'épuration par voie sèche et protéger ainsi le matériau des filtres, on les fait passer dans un épurateur humide-sec contenant de l'eau plutôt qu'une bouillie avant de les faire pénétrer dans l'épurateur sec.

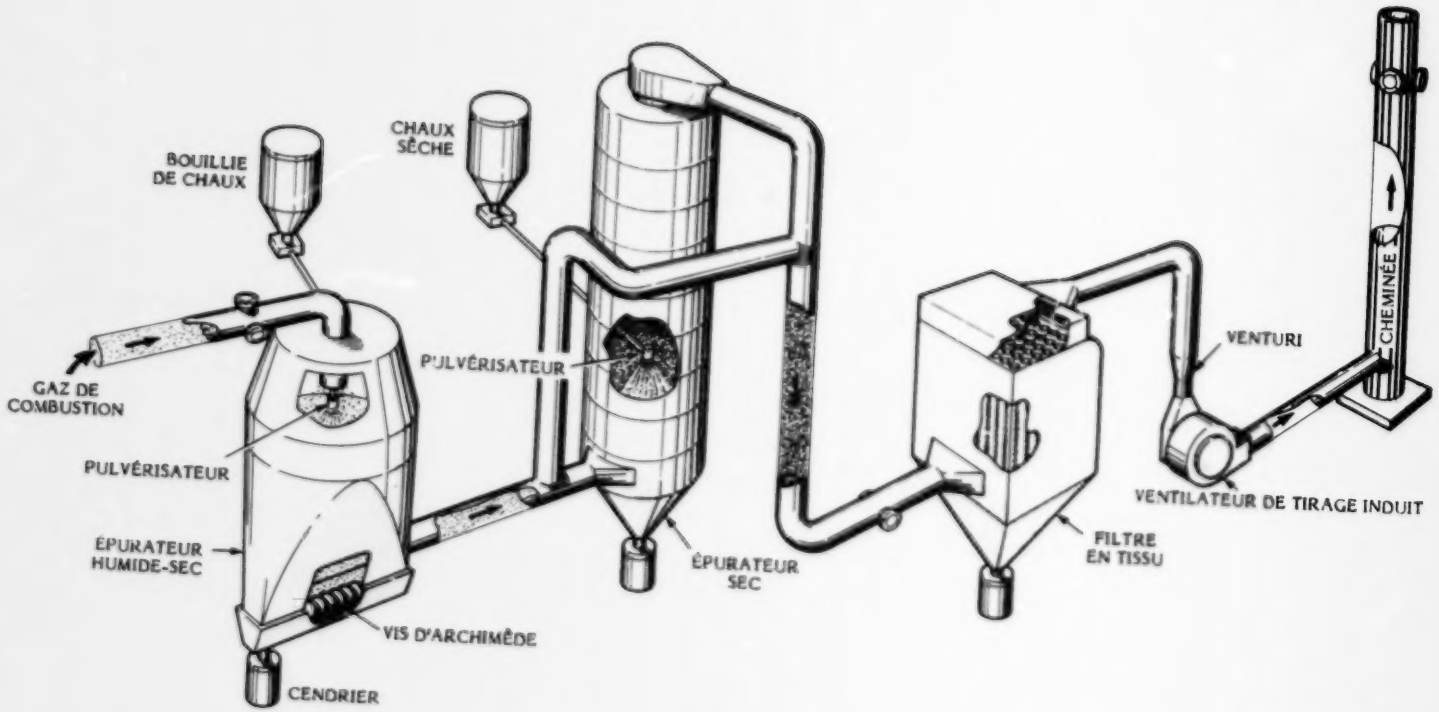


FIGURE 2 ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DE L'USINE-PILOTE FLAKT

3.2 Plan de l'usine

La vaste expérience acquise internationalement par Flakt au sujet des dispositifs d'épuration des gaz en Europe et au Japon a beaucoup servi à la conception de l'usine-pilote. Chaque élément de l'usine utilisé dans le programme d'essais a été choisi à partir de matériel existant en opération, et réduit à une échelle permettant d'expérimenter une vaste gamme de conditions à un coût raisonnable.

Un élément critique du choix de l'échelle de l'usine-pilote a été la pointe de carbure de la buse de pulvérisation de la bouillie dans l'épurateur humide-sec. L'emploi d'un gicleur unique a déterminé le débit de pulvérisation de la bouillie et donc le débit de gaz que l'usine pouvait épurer. Tout le matériel accessoire (ventilateur, conduites, réacteur sec, etc.) a été dimensionné en fonction de ce débit. L'usine-pilote a été construite à une échelle suffisamment grande pour démontrer les opérations et pour fournir des résultats représentatifs d'une installation grandeur réelle.

Le service de génie de Flakt a conçu toutes les pièces de matériel, en a préparé le cahier des charges et a acheté tous les éléments. En outre, le personnel de Flakt a supervisé tous les aspects de l'installation sur place et commandé le démarrage de l'usine.

3.3 Éléments de l'usine-pilote

Les principaux éléments de l'usine-pilote illustrée aux figures 2 et 3 sont:

- Conduite de déviation des gaz de combustion (avec 8 buses d'admission) au niveau de l'entrée de l'électrofiltre de l'incinérateur n° 3, permettant d'amener un échantillon représentatif des gaz à l'usine-pilote (figure 3).
- Épurateur humide-sec DRY-PAC de Flakt (servant également à refroidir les gaz) avec gicleur de bouillie et vis d'Archimède au fond.
- Épurateur sec DAS de Flakt avec pulvérisateur unique de chaux sèche et cyclone interne intégré à l'entrée de l'épurateur.
- Filtre en tissu à pulsoréacteur OPTIPULSE de Flakt, utilisant des sacs haute température en Téflon• et un rapport air-tissu de 4,4 ACFM/pi^2 (80 Am^3/h/m^2).
- Ventilateur de tirage induit avec venturi.
- Cheminée.

L'équipement accessoire comprend des conduites de dérivation à travers l'épurateur sec et le filtre en tissu; des cendriers portatifs à trémie, sur chacun des trois récipients; des vannes isolantes des conduites de gaz de combustion et une vanne

contrôlant le débit du ventilateur; deux pompes à vitesse variable pour la bouillie de chaux, avec récipients, agitateurs, commandes et raccords flexibles pour la bouillie; une conduite d'alimentation à venturi-pulvérisateur à vitesse réglable pour la chaux sèche, un silo pour la chaux sèche; un filtre en tissu à pulsoréacteur et à minuterie des impulsions.

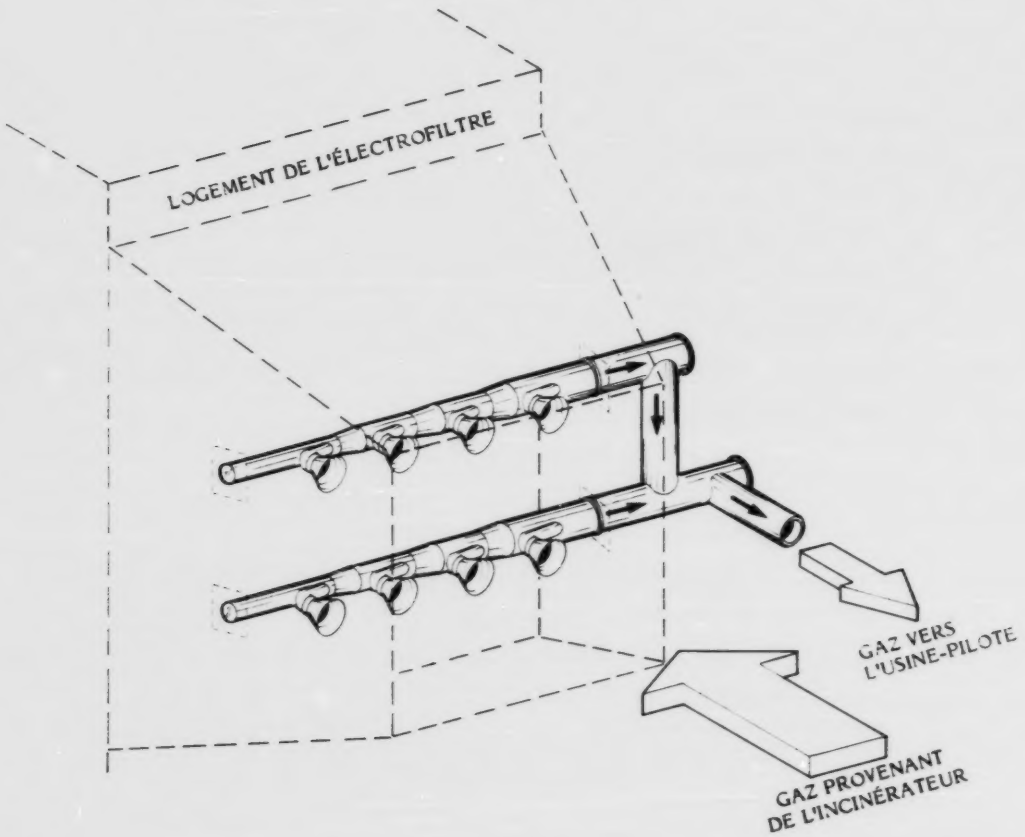


FIGURE 3 DISPOSITIF DE DÉRIVATION DES GAZ DE COMBUSTION

Certaines particularités brèvetées distinguent les épurateurs et les filtres en tissu conçus par Flakt de ceux de ses concurrents.

L'usine-pilote fonctionne dans un des deux modes suivants:

3.3.1 Système par voie sèche. - Dans le système par voie sèche (voir figure 4), les gaz de combustion arrivent à 255 °C - 270 °C dans l'épurateur humide-sec, servant ici de refroidisseur, et sont refroidis à 110 °C - 140 °C par un jet d'eau. Les gaz arrivent

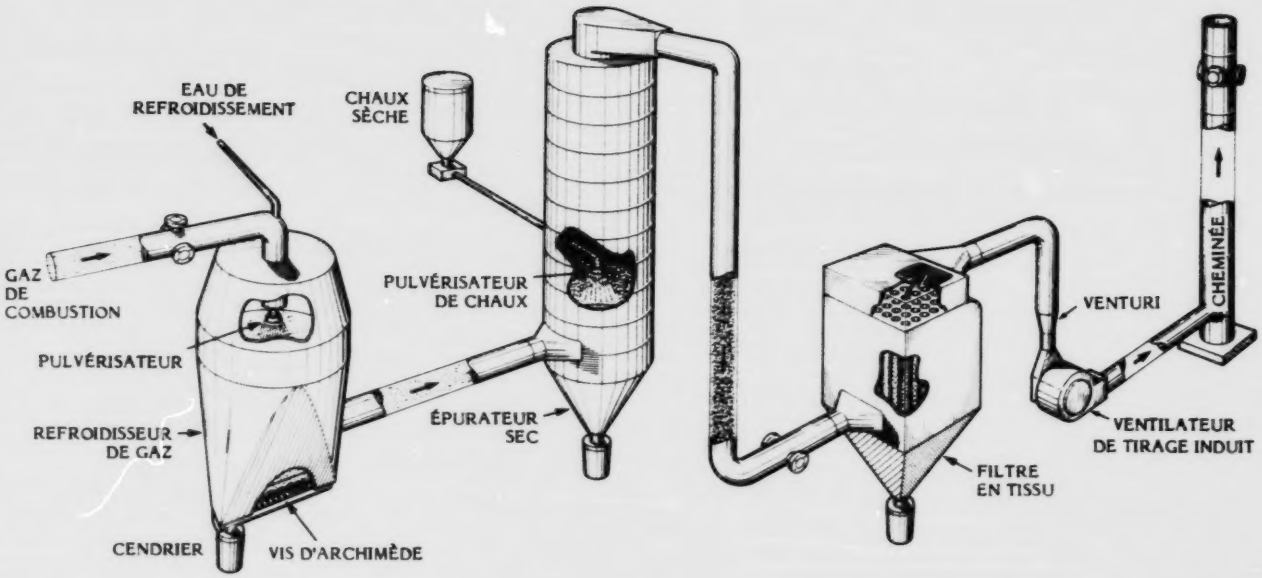


FIGURE 4 SYSTÈME PAR VOIE SÈCHE FLAKT

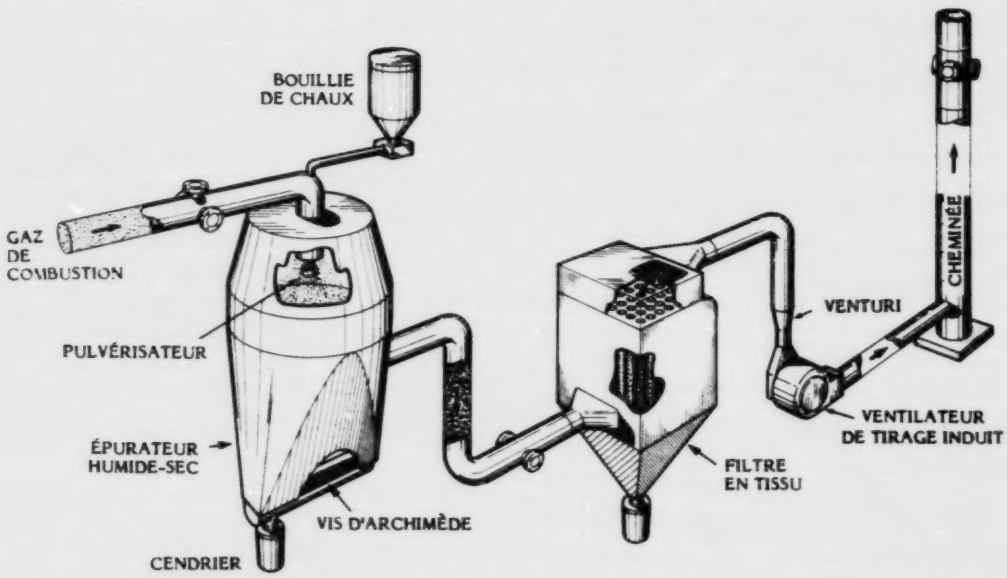


FIGURE 5 SYSTÈME PAR VOIE HUMIDE-SÈCHE FLAKT

ensuite tangentiellement au fond de l'épurateur sec, dans un cyclone qui élimine les grosses cendres volantes. Les gaz sont ensuite traités à la chaux hydratée en poudre, qui est injectée avec de l'air comprimé par une buse unique dirigée vers le bas dans le passage du gaz. Les gaz de combustion, refroidis et conditionnés, arrivent au filtre en tissu, dernier dispositif de dépollution, avec les produits entraînés de réaction avec la chaux.

3.3.2 Système par voie humide-sèche. - Dans le système humide-sec (voir figure 5) les gaz chauds de combustion (255 °C - 270 °C) pénètrent par le sommet dans l'épurateur humide-sec où ils se mélangent intimement à la bouillie de chaux finement pulvérisée, qui les refroidit. Le mélange se produit dans une zone d'extrême turbulence produite par le distributeur automatique d'admission à plaque à chicanes et à venturi. Les gaz humidifiés (110 °C - 140 °C) et conditionnés passent ensuite à travers le filtre en tissu pour l'épuration finale.

Les deux systèmes décrits peuvent fonctionner avec recyclage des "cendres" du filtre. Ces cendres contiennent de la chaux hydratée qui n'a pas réagi et qu'on mélange à la chaux fraîche, en bouillie ou en poudre, avant de la réinjecter dans l'épurateur.

3.3.3 Filtre en tissu. - Les filtres se trouvent dans une chambre à compartiment unique contenant 72 sacs, disposés en 6 rangées de 12. Le sac est en Téflon® avec revêtement en fibre de Gortex; il ne réagit pas aux gaz acides et peut fonctionner jusqu'à une température de 250 °C. Les sacs sont supportés par des cages cylindriques en fil métallique. Les particules sont recueillies à l'extérieur des sacs; les gaz de combustion épurés les traversent et ressortent de la plaque alvéolaire au sommet de la chambre de filtration. Les sacs sont nettoyés par de l'air pulsé à basse pression (OPTIPULSE de Flakt) envoyé par une minuterie aux tubulures de chaque rangée de sacs. L'air descend vers le sommet de chaque sac par des éjecteurs placés au niveau de la plaque alvéolaire.

3.3.4 Réglage de l'opération. - Le système de l'usine-pilote est relativement simple. La température à laquelle les filtres sont maintenus durant les essais (généralement 100 °C à 140 °C) est un paramètre clé de l'opération. La température est établie par le réglage du débit de la bouillie dans le système humide-sec et du débit du jet d'eau dans le système sec.

Le débit des gaz de combustion dans le système était fixé par réglage de l'amortisseur à l'entrée du ventilateur. On contrôlait souvent la chute de pression au venturi placé en amont pour vérifier que la pression était bien constante durant les essais.

4 PROTOCOLES D'ÉCHANTILLONNAGE ET D'ANALYSE

4.1 Considérations relatives au programme d'essais

La présente étude porte sur plusieurs questions d'ordre environnemental intéressant à la fois Flakt Canada et Environnement Canada; elle a nécessité une planification rigoureuse pour répondre aux objectifs des deux parties. Les émissions qui nous intéressaient sont les suivantes: gaz acides, particules, mercure, métaux lourds et composés organiques à l'état de traces. Comme dans le cas de l'étude réalisée dans le cadre du PEENI à l'incinérateur de l'Île-du-Prince-Édouard, les essais se divisent en deux parties: d'abord, des essais de caractérisation, pour étudier une vaste gamme de conditions d'opération, avec un contrôle limité des émissions; ensuite, des essais de performance, pour analyser de façon approfondie toutes les émissions polluantes.

En outre, les essais de caractérisation ont donné aux coordinateurs du programme une expérience de l'exploitation de l'usine, une connaissance des limites du matériel et, par la suite, une base pour choisir les conditions de fonctionnement qui méritaient des essais de performance détaillés.

Trois points d'échantillonnage ont été retenus pour mesurer les rendements des dispositifs de dépollution:

- **À l'entrée: en amont de l'usine-pilote.** - Point d'échantillonnage nécessaire pour obtenir des données sur les gaz de combustion non traités.

- **Au milieu: entre les épurateurs et les filtres.** - Point jugé important pour examiner l'amélioration possible du rendement des filtres. Plusieurs études bien documentées [7, 8] ont indiqué que le gâteau de chaux déposé sur les sacs de filtration peut favoriser l'élimination du HCl, du SO_2 et des métaux, mais l'élimination des composés organiques est mal connue.

- **À la sortie: en aval du filtre, dans la cheminée.** - On échantillonne à cet endroit pour savoir quelle proportion des polluants a été éliminée par les systèmes à l'étude.

En plus des échantillons gazeux prélevés à ces trois points, on a recueilli durant les essais de performance des échantillons de toutes les cendres déversées par les épurateurs et les filtres pour y doser les métaux et les composés organiques à l'état de traces.

Durant les essais de performance, 10 dispositifs d'échantillonnage manuel et 13 appareils de surveillance en continu des gaz ont été employés simultanément par une équipe de 33 ingénieurs, chimistes et techniciens. Cette partie du rapport esquisse

brièvement les méthodes d'échantillonnage utilisées et les méthodes d'analyse organique et inorganique employées.

4.2 Échantillonnage manuel

Quatre montages d'échantillonnage manuel ont été utilisés pour les essais de performance:

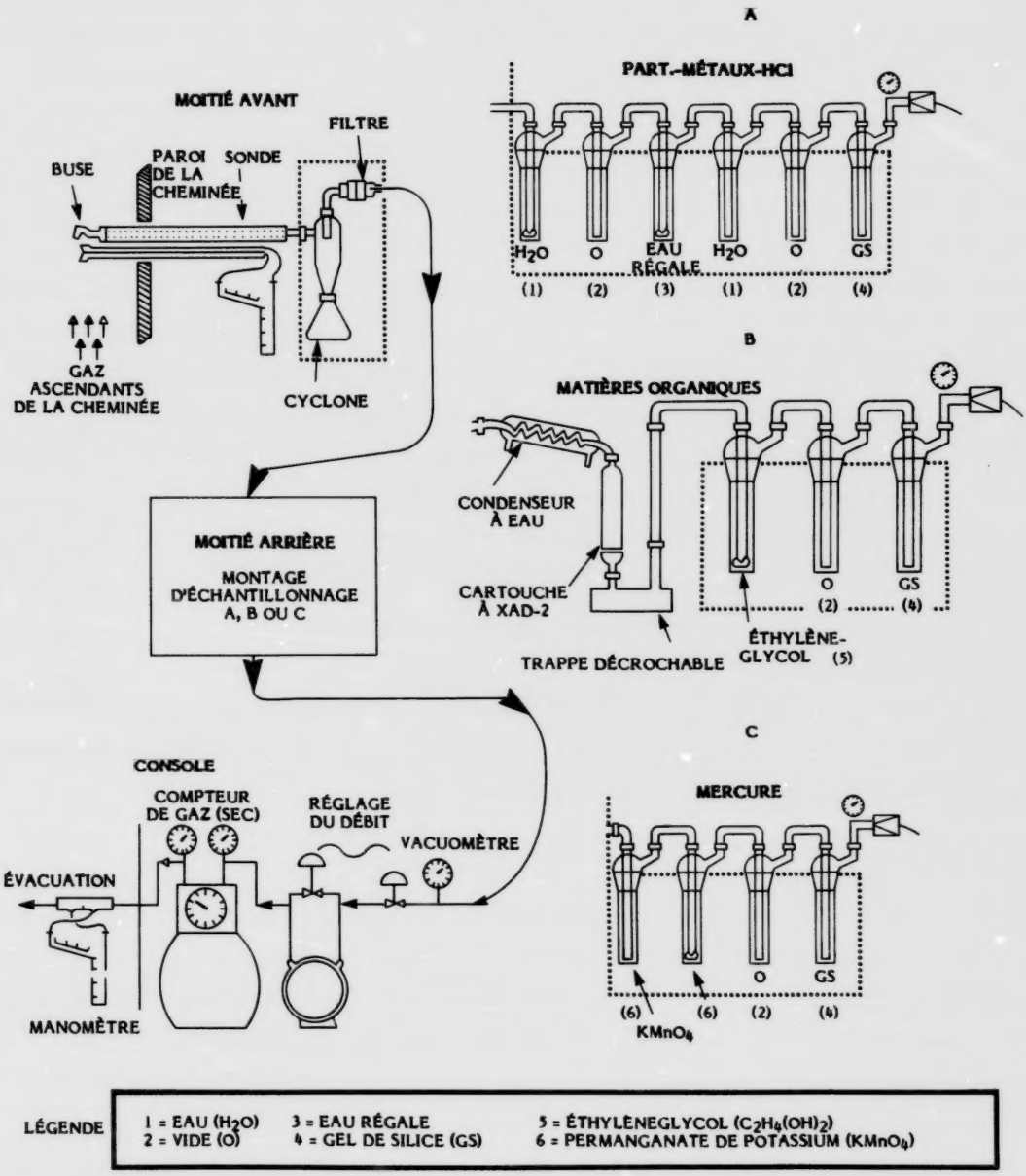
- particules, métaux, HCl-MPHCl,
- mercure,
- composés organiques,
- HCl.

À l'exception d'un barboteur nain servant à recueillir les échantillons de HCl, toutes les méthodes suivent celle du montage 5 de l'Environmental Protection Agency des États-Unis. En général, chaque montage se compose des éléments suivants:

- une buse en col de cygne (moitié avant),
- une sonde chauffée chemisée de verre (moitié avant),
- un montage cyclone-filtre chauffé (moitié avant),
- une série de barboteurs (cartouches), plongés dans un bain de glace (moitié arrière), contenant des réactifs spécifiques,
- une console d'échantillonnage.

Les particules présentes dans les gaz ont été recueillies par un cyclone et un filtre en fibre de verre, contenus dans une enceinte chauffée. Après l'élimination des particules, les gaz échantillonnés passaient dans un barboteur recueillant les composants gazeux. Dans le montage particules-métaux-HCl, le HCl gazeux et les métaux étaient capturés par une série de barboteurs remplis d'eau et d'eau régale. Dans le montage destiné au mercure, ce métal était recueilli par deux barboteurs contenant du permanganate de potassium. Dans le montage organique, les composés organiques gazeux étaient capturés par un tube à résine contenant de l'Amberlite XAD-2 et un barboteur rempli d'éthylèneglycol. Ces trois montages sont reproduits à la figure 6.

La durée d'échantillonnage pour chaque essai (sauf pour les échantillonnages courts du HCl) était de 4 heures. Tous les montages fonctionnaient simultanément. Dans chaque cas, les gaz de carneau étaient recueillis par deux orifices situés à 90° l'un de l'autre, et il y avait échantillonnage isocinétique à 6 points le long de chaque parcours. À chaque point, l'échantillonnage durait 10 minutes, avec lectures aux 5 minutes. Chaque parcours était échantillonné deux fois. Des contrôles de fuites se faisaient au départ et à la fin de chaque parcours et partout où un raccord de montage était introduit.



LÉGENDE

1 = EAU (H_2O)	3 = EAU RÉGALE	5 = ÉTHYLÈNEGLYCOL ($C_2H_4(OH)_2$)
2 = VIDE (O)	4 = GEL DE SILICE (GS)	6 = PERMANGANATE DE POTASSIUM ($KMnO_4$)

FIGURE 6 MONTAGES D'ÉCHANTILLONNAGE

Dans le cas des montages destinés exclusivement au HCl, le HCl gazeux était récupéré par deux barboteurs nains remplis d'eau. Les particules étaient capturées par un tampon de laine de verre placé à l'entrée d'une sonde chauffée. Le taux d'échantillonnage était constant, et un essai consistait en un échantillonnage de 15 ou 30 minutes. Des contrôles de fuites étaient également réalisés sur ce montage.

Dans le cas du montage organique, un essai à blanc était réalisé pour trois essais normaux. Ces essais étaient réalisés de la même façon, sauf qu'aucun gaz de combustion n'était échantillonné. Cependant, un volume d'air ambiant, égal à celui retiré durant les contrôles de fuite, avant et après parcours, était retiré pour l'essai à blanc, destiné essentiellement à contrôler la concentration de fond des composés organiques.

Une fois l'échantillonnage terminé, tous les montages étaient apportés aux trois laboratoires installés sur place pour la récupération des échantillons. Les échantillons des trois montages étaient récupérés par un laboratoire établi à cette fin par la Division des services d'analyse d'Environnement Canada. Flakt Canada Ltd. était responsable de la récupération des échantillons du montage particules-métaux-HCl, ainsi que des échantillons de mercure à l'entrée, tandis qu'Environnement Canada récupérait les échantillons prélevés à la sortie.

Dans le montage particules-métaux-HCl, les particules étaient récupérées et faisaient l'objet d'une mesure quantitative; une aliquote de la première solution de barbotage servait au dosage du HCl, et les solutions aqueuses d'eau régale servaient au dosage des métaux.

Dans le montage destiné au mercure, le métal présent sous forme particulaire était récupéré par lavage au dichromate des composants de la première moitié, et par immersion du filtre chargé dans la solution obtenue. La récupération des barboteurs nécessitait la réduction des solutions de permanganate à l'hydrochlorure d'hydroxylamine, suivie d'une conservation du contenu dans une solution au dichromate. La principale caractéristique de la méthode est l'utilisation d'agents de conservation pour éliminer les pertes de mercure dans les contenants d'entreposage.

La récupération des composés organiques s'est faite par brossage et rinçage à l'acétone et à l'hexane de presque tous les récipients en verre du montage. Les filtres chargés étaient pliés et placés dans du papier d'aluminium prénettoyé, placé ensuite dans un vase de pétri en verre. Les tubes d'Amberlite étaient bouchés et emballés dans du papier d'aluminium. Tous les échantillons de liquides étaient conservés dans des bouteilles ambrées prénettoyées (avec garnitures de bouchons prénettoyés en Téflon•) pour empêcher toute photoaltération. Enfin, après récupération, tous les échantillons étaient

réfrigérés. Une fois les échantillons récupérés dans le laboratoire sur place, ils étaient gardés dans des contenants réfrigérés durant le transport quotidien jusqu'au laboratoire principal.

On récupérait les échantillons du montage destiné exclusivement au HCl en combinant les deux premières solutions de barbotage avec l'eau déionisée de rinçage des contenants en verre en aval de la sonde.

Toute la verrerie des montages et tous les contenants pour la conservation des échantillons étaient nettoyés selon des consignes précises avant les essais. L'efficacité du nettoyage était vérifiée avec le réactif de rinçage utilisé dans l'étape de récupération. Aucune verrerie et aucun contenant n'étaient utilisés s'ils ne répondaient pas aux exigences de propreté. La verrerie des montages organiques devait être vérifiée pour la propreté avant d'être réutilisée, et tous les contenants utilisés pour le réactif de rinçage devaient l'être également, un à un.

4.3 Appareils de mesure des gaz en continu

Des appareils de mesure en continu et en temps réel ont été utilisés pour doser simultanément les composants gazeux suivants:

Composant	Entrée	Milieu	Sortie
HCl	Flakt	Flakt	E.C.
SO_2	Flakt	Flakt	E.C.
O_2	Flakt		E.C.
Hydrocarbures totaux	E.C.		E.C.
H_2O		Flakt	
CO_2			E.C.
CO			E.C.

E.C. = Environnement Canada; Flakt = Flakt Canada Ltd.

Ces 13 appareils, représentant 10 types d'analyseurs et 8 combinaisons différentes de systèmes de conditionnement des échantillons de gaz, sont présentés au tableau 1. Certains analyseurs ont été d'abord testés en laboratoire: reproductibilité, zéro, déviation de la lecture, linéarité. Une fois installés sur place, la plupart des instruments fonctionnaient durant toute la période d'essai et livraient des données valides, à l'exception de l'analyseur des hydrocarbures totaux à l'entrée, qui n'a été utilisé que pour

TABLEAU 1 ANALYSEURS DES GAZ EN CONTINU

Système n°	Point d'échantillonnage	Responsable	Gaz	Milieu	Analyseur		
					Modèle	Principe	Gamme
1	Entrée	Flakt	SO_2	Sec	WRD 721 A	UVND	0-250 ppm
			O_2	Sec	Servomex 570 A	Para	0-25 %
2		Flakt	HCl*	Sec	Teco 15	CGF	0-1000 ppm
3		E.C.	HCTf**	Sec	Ratfisch RS 5	DIF	0-30 ppm
4	Point milieu	Flakt	HCl*	Humide	Bodenseewerk 677	CGF	0-209 ppm
			H_2O		Bodenseewerk 657	IRND	0-100 %
5		Flakt	SO_2	Sec	WRD 721 A	UVND	0-250 ppm
6		E.C.	HCTc**	Humide	Ratfisch RS 5	DIF	0-30 ppm
7	Sortie	E.C.	HCl	Sec	Teco 15	CGF	0-200 ppm
8		E.C.	SO_2	Sec	WRD 721 A	UVND	0-200 ppm
			CO		Bendix 8501-5BA	IRND	0-250 ppm
			CO_2		Anarad AR-421	IRND	0-20 %
			O_2		Teledyne 320/P4	CC	0-25 %
			HCTf		Beckman 400	DIF	0-20 ppm

* Fonctionnait durant une partie des essais de performance.
** Fonctionnait à l'entrée et à la sortie.

UVND - Ultraviolet non dispersif
CGF - Corrélation gaz-filtre
Para - Paramagnétique
IRND - Infrarouge non dispersif
DIF - Détecteur à ionisation de flamme
CC - Cellule de combustible

c = chaud
f = froid

4 tests, et l'analyseur de HCl placé au même endroit, qui n'a bien fonctionné que durant les 4 derniers essais.

L'analyseur de HCl placé au point milieu fonctionnait en milieu humide, comme l'analyseur d'humidité. Tous les autres instruments fonctionnaient en milieu sec, et nécessitaient deux systèmes fondamentaux d'extraction et de conditionnement des échantillons. En général, des échantillons gazeux représentatifs étaient extraits de la source; les particules étaient ensuite enlevées, et selon les exigences de l'analyseur, un traitement supplémentaire était effectué pour enlever l'eau non liée. Les instruments étaient étalonnés à l'aide de gaz commerciaux vérifiés par les meilleures méthodes de référence. Des gaz d'étalonnage injectés sur place, à l'entrée de l'analyseur, à l'entrée du système de conditionnement et à l'entrée de la conduite d'échantillonnage chauffée, ont permis de contrôler l'ensemble du système et de repérer des fuites éventuelles.

Le système d'enregistrement des données en continu faisait appel à un système informatisé de capture de données en temps réel. Des enregistrements graphiques devaient servir en cas de panne du système à microprocesseur et permettaient d'observer l'évolution des données. En outre, les graphiques donnaient une copie papier des données d'étalonnage des instruments aux fins du contrôle de la qualité.

La fréquence des balayages était fixée à 20 secondes, et les données de chaque balayage étaient affichées à l'écran pour contrôle immédiat. Des moyennes aux 5 et aux 15 minutes étaient calculées à partir des balayages aux 20 secondes et produites sur une imprimante. L'exactitude des résultats était immédiatement contrôlée, et des changements étaient apportés au besoin. Après chaque période d'opération de 2,5 heures, les moyennes aux 15 minutes étaient entrées sur l'IBM-PC utilisé pour consigner toutes les données recueillies durant l'étude.

4.4 Données sur le procédé et échantillons de cendres

Afin de connaître exactement les conditions de fonctionnement de l'incinérateur et de l'usine-pilote, les données relatives à leur fonctionnement étaient consignées à intervalle régulier.

Les cendres étaient récupérées dans divers récipients à trémie (cendriers). Dans le système par voie sèche, les cendres étaient récupérées dans la tour de conditionnement (épurateur humide-sec), dans l'épurateur sec et les trémies des filtres en tissu. Dans le système par voie humide-sèche, les cendres étaient récupérées dans l'épurateur humide-sec et les trémies des filtres. Des sous-échantillons de toutes les cendres étaient constitués pour le dosage en laboratoire des métaux lourds et des composés organiques à l'état de traces.

4.5 Méthodes d'analyse

Tous les dosages des composés organiques ont été réalisés par la Division des services d'analyse d'Environnement Canada au laboratoire du Centre environnemental de River Road à Ottawa. La Division s'est chargée également des dosages du HCl et du mercure dans le montage destiné à ce métal. Tous les autres métaux ont été dosés par IEC Beak, dont le mercure dans les cendres. Les diverses méthodes d'analyse seront maintenant présentées brièvement.

4.5.1 Composés organiques. - Un des principaux objectifs des essais réalisés à l'usine-pilote était de mesurer la concentration de 6 catégories de composés organiques dans les gaz de combustion et les cendres d'incinération, dans diverses conditions d'exploitation. Voici les 6 catégories en question: les dibenzo-*p*-dioxines polychlorées (DDPC) et les dibenzofurannes polychlorés (DFPC), les biphényles polychlorés (BPC), les benzènes chlorés (BC), les phénols chlorés (PC) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

Les 4 étapes de base du traitement et de l'analyse des échantillons étaient:

a) l'extraction au solvant des composés organiques de la matrice de l'échantillon;

b) le nettoyage de l'extrait brut, afin d'en retirer certains composés organiques non visés, et de séparer les composés visés en 4 fractions à des fins d'analyse;

c) l'analyse de chaque fraction;

d) l'interprétation des données et la mesure chiffrée des composés visés.

La figure 7 est un organigramme du traitement et de l'analyse des échantillons. L'extrait brut de chaque échantillon a été divisé en deux. Les deux moitiés ont fait l'objet de nettoyages différents, chaque procédé de nettoyage produisant deux fractions pour l'analyse. Un des nettoyages séparait les chlorobenzènes et les BPC des DDPC et DFPC, tandis que l'autre séparait les chlorophénols des autres composés organiques extraits, incluant les HAP. Le volume final de chacune des fractions figure au tableau.

Toutes les fractions ont été analysées par chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse (CPG et SM). La chromatographie en phase gazeuse est une technique permettant de séparer chacun des constituants particuliers d'un mélange complexe de composés organiques visés et non visés. Le spectromètre de masse sert à détecter les constituants de chaque échantillon particulier. Cet outil puissant peut être programmé pour réagir sélectivement aux composés cibles en fonction de leur masse moléculaire et de leurs modes caractéristiques de fragmentation moléculaire.

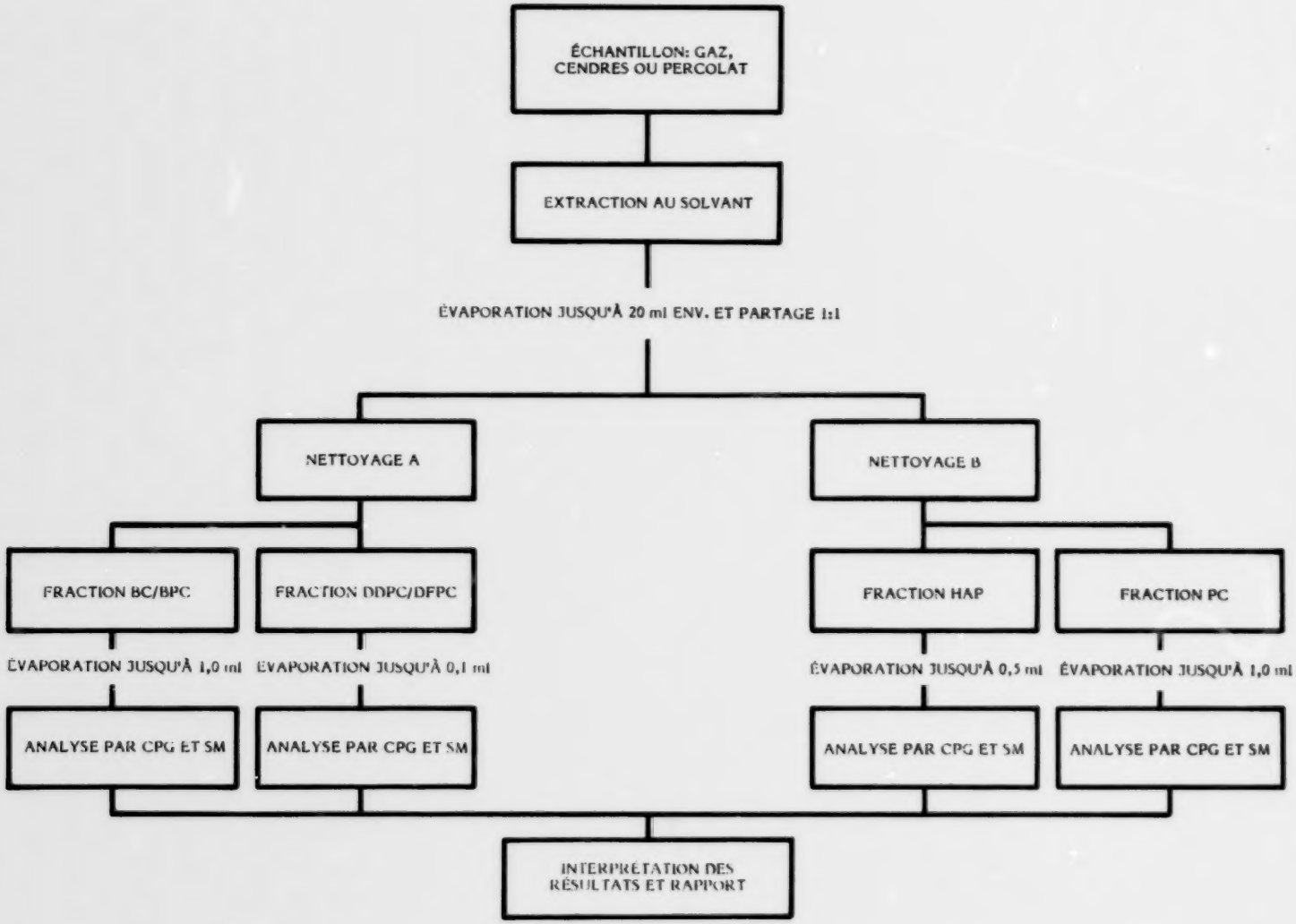


FIGURE 7 ORGANIGRAMME D'ÉCHANTILLONNAGE ET D'ANALYSE DES COMPOSÉS ORGANIQUES

Chaque analyse d'échantillon a généré un volume important de données CPG et SM à demi traitées. L'interprétation finale de toutes les données se faisait manuellement: on extrayait toute donnée qui ne répondait pas à tous les critères établis d'identification des composés cibles.

Pour les dioxines et les furannes dans les échantillons de gaz de combustion, les mentions "N.D." ou "non décelé" correspondent, dans les tableaux, à:

- 0,2 ng par pic d'analyse par échantillon, pour DDT4C, DFT4C, DFP5C, DFH6C;
- 0,4 ng par pic d'analyse par échantillon, pour DDP5C, DDH6C, DFH7C, DFO8C;
- 0,6 ng par pic d'analyse par échantillon, pour DDH7C, DDO8C.

Pour les dioxines et les furannes des échantillons de cendres, les seuils de détection sont deux fois supérieurs.

Pour les autres composés organiques, "N.D." ou "non décelé" correspondent à:

- 2 ng par congénère par échantillon pour les chlorobenzènes;
- 2 à 10 ng par échantillon pour les biphényles polychlorés;
- 30 ng par congénère pour les chlorophénols;
- 10 ng par échantillon de chaque hydrocarbure aromatique polycyclique.

Toutes les données sur les dioxines et les furannes sont corrigées en fonction de la récupération. Les données sur les autres composés organiques *ne le sont pas*. Les facteurs de récupération figurent dans le rapport détaillé sur les données qu'on peut se procurer séparément.

4.5.2 Métaux. - Les échantillons issus de ce montage ont été préparés selon une méthode compatible avec le milieu aqueux ou solide. Les échantillons en milieu aqueux ont fait l'objet d'une évaporation ou d'une digestion. Les échantillons solides et les filtres ont été digérés dans de l'eau régale.

L'acétone du lavage de la sonde était évaporé complètement avant la mesure des particules totales, puis les matières solides étaient digérées à l'eau régale pour le dosage des éléments. Le mercure était dosé directement dans le digestat après réduction à l'hydroxylamine. L'arsenic et l'antimoine étaient préréduits à l'acide chlorhydrique et à l'iodure de potassium avant formation d'hydrures.

Le filtrat et le filtre étaient digérés au complet à l'eau régale et analysés comme les matières solides résultant du lavage de la sonde.

Les échantillons de cendres volantes et de chaux étaient digérés à l'eau régale et analysés comme les matières solides de la sonde.

Le contenu des barboteurs et les échantillons aqueux étaient concentrés par un facteur de deux ou encore digérés. Le mercure était dosé après digestion aux acides sulfurique-nitrique et au persulfate-permanganate de potassium.

Les échantillons de montages étaient digérés à l'acide chlorhydrique. Les digestats étaient ensuite traités au peroxyde d'hydrogène et réduits au mercure avant analyse.

Les éléments étaient dosés par spectrométrie d'émission de plasma en courant continu (PCC) sauf les exceptions suivantes: les vapeurs de mercure étaient dosées par spectrométrie d'absorption atomique sans flamme (AASF); pour l'arsenic, l'antimoine, le bismuth, le sélénium et le tellurium, on a formé leurs hydrures métalliques, qu'on a dosés par spectrométrie AASF.

Toutes les analyses se sont conformées aux méthodes connues et aux normes de qualité en laboratoire. Certaines analyses de métaux par spectrométrie PCC ont été vérifiées par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme.

4.5.3 Chlore. - L'ion chlorure a fait l'objet d'une chromatographie par échange d'ions. Par cette technique, les ions chlorure sont séparés des autres ions dans une colonne. Les cations de la solution sont échangés dans une deuxième colonne, dite suppresseur. La conductivité des acides résultants est mesurée par une cellule de microconductivité, et les concentrations de chlorure sont comparées à une courbe d'étalonnage déjà préparée.

4.5.4 Tests de percolation. - Afin d'accroître nos données sur l'aptitude à la percolation des composés organiques et inorganiques présents dans les cendres des incinérateurs municipaux, chacun des trois types de cendres recueillies dans l'usine-pilote a fait l'objet d'un test de percolation des composés suivants: DDPC, DFPC, BC, BPC, HAP, PC et certains métaux. On a réalisé des essais en laboratoire utilisant un rapport liquide (eau distillée) - solide de 20/1, de même que des essais par extraction chimique en séquence. Les résultats, connus bientôt, seront publiés dans un rapport distinct.

4.6 Contrôle de la qualité

Étant donné à la fois l'importance des essais du PEENI et de la quantité considérable d'échantillonnages et de collectes des données en cause, un programme indépendant de contrôle de la qualité, réalisé par un tiers, a été ajouté au contrôle de la

qualité standard faisant partie des exigences d'échantillonnage et d'analyse. Les objectifs de ce programme de contrôle étaient les suivants:

- Produire des données avec la meilleure exactitude, reproductibilité, exhaustivité, représentativité et comparabilité possible, grâce à des méthodes de contrôle de la qualité conçues pour que tous les éléments du programme soient réalisés de manière à minimiser tous les effets négatifs possibles sur la qualité des données.
- Mesurer l'exactitude, la reproductibilité, l'exhaustivité, la représentativité et la comparabilité des données recueillies durant l'étude.

Pour répondre à ces objectifs, un programme rigoureux et complet de contrôle de la qualité a été conçu et mis en place durant la phase préparatoire. Le programme a permis de s'assurer que les données consignées et analysées étaient complètes et détaillait la mesure de la reproductibilité et de l'exactitude des résultats d'analyse. Plusieurs méthodes du programme ont été incorporées aux modes opératoires normaux et communiquées au personnel du projet sous la forme d'un manuel avant le début des essais sur le terrain. Ce manuel a servi de référence au personnel pour les mesures, l'organisation, les responsabilités, le signalement, les modes opératoires reliés au contrôle de la qualité, etc. qui devraient être suivis pour chaque phase du programme, c'est-à-dire la mobilisation, la caractérisation, la performance et l'analyse en laboratoire.

Dans l'ensemble, les échantillonnages manuels et en continu ont très bien fonctionné, si on considère le nombre de montages et d'analyseurs de gaz qui fonctionnaient simultanément. Des 91 échantillonnages manuels, fonctionnant pendant quatre heures chacun durant les essais de performance, seulement cinq ont été invalidés. Dans un cas, il s'agissait d'un échantillonnage de MPHCl à l'entrée, pour l'essai de performance numéro 4 (EP-4) et dans un autre, de l'échantillonnage du même MPHCl à la sortie pour l'EP-13. Trois autres échantillonnages manuels ont été invalidés durant le premier essai de performance (EP-1): les échantillonnages de Hg et de MPHCl à l'entrée et celui des composés organiques au point milieu. En conséquence, l'EP-1 a été considéré comme un essai préliminaire et a été repris lors de l'EP-11.

Pour compléter les contrôles en continu du HCl, 186 essais de barbotage de 15 à 30 minutes ont été réalisés pour ce composé. Les résultats des échantillonnages manuels supplémentaires de HCl réalisés au point milieu n'ont pas été utilisés, parce qu'on considère que les poussières riches en chaux récupérées sur la laine de verre retenaient le HCl de l'échantillon de gaz. À la place, on a utilisé les résultats du contrôle en continu.

Dans le cas des analyseurs en continu, seules les données relatives au HCl à l'entrée, pour les essais EP-1 et EP-7, ont été invalidées. À la place, on a utilisé les données de l'échantillonnage manuel réalisé à l'entrée.

Les échantillons recueillis ont fait l'objet d'analyses visant les composés organiques, les métaux lourds, le mercure et le chlore. Ils provenaient des montages d'échantillonnage manuel (filtres, résines, solutions de barbotage), des poussières déposées sur les filtres en tissu, du produit de l'épuration par voie sèche et par voie humide, ainsi que de la chaux. Pour mesurer la reproductibilité et l'exactitude de l'analyse et pour évaluer la fiabilité des données d'analyse, un programme de contrôle de la qualité d'un laboratoire extérieur a également été utilisé.

En vertu de ce programme, il a fallu soumettre au laboratoire principal et au laboratoire de contrôle de la qualité un certain nomb e de fractions d'échantillons, d'extraits d'échantillons d'analyses, d'échantillons en triple et d'étalons.

Afin d'évaluer l'analyse de chaque échantillon pour chaque groupe de paramètres organiques, des solutions normales de remplacement ont été ajoutées aux échantillons avant le début de toute l'analyse. Les données relatives aux concentrations de remplacement ont été utilisées pour calculer la récupération des composés de remplacement et fournir une mesure de l'exactitude de la préparation de l'échantillon et de l'analyse comme telle.

Deux étalons du National Bureau of Standards (NBS) ont été soumis à l'insu des laboratoires pour le dosage des composés organiques (SRM, 16949) et des métaux lourds (SRM 1648). En comparant avec des données vérifiées, on a pu mesurer l'exactitude de l'analyse d'un échantillon homogène.

En outre, cinq échantillons de poussières déposées sur les filtres en tissu ont été analysés en trois exemplaires pour les composés organiques et les métaux lourds; on cherchait à mesurer la reproductibilité de l'analyse effectuée par le laboratoire principal et par le laboratoire de contrôle de la qualité.

Les résultats des comparaisons se résument comme suit:

Métaux - Bonne corrélation entre les laboratoires pour la majorité des éléments, et variation minime entre les laboratoires dans le cas de la plupart d'entre eux. Comme prévu, il y avait plus de variations à faibles concentrations. Un faible biais vers le bas est évident dans les résultats du laboratoire de contrôle de la qualité.

Composés organiques - Les corrélations entre les deux laboratoires étaient bonnes à l'exception des BPC et des BC. Des concentrations extrêmement faibles de BPC ont donné

lieu à des écarts considérables dans les résultats des deux laboratoires. Il y a eu des problèmes de contamination des BC dans le laboratoire de contrôle de la qualité, ce qui a gêné la cohérence interne des résultats obtenus par ce laboratoire.

Dans l'ensemble, les résultats concernant les métaux et les composés organiques sont considérés comme représentatifs des émissions ayant lieu au moment de l'échantillonnage.

5 DESCRIPTION DU PROGRAMME D'ESSAIS

Comme on l'a déjà mentionné, ce programme comportait deux volets, des essais de caractérisation et des essais de performance. L'objectif de la caractérisation était d'identifier un certain nombre de modes de fonctionnement afin de pouvoir retenir certaines conditions d'essais de performance, en faisant appel à un nombre limité d'essais.

5.1 Essais de caractérisation

Un essai préliminaire de familiarisation a été requis avant que les 13 essais de caractérisation (EC) puissent commencer. Les essais ont été divisés en fonctionnement par voie sèche et par voie humide-sèche, comme on le voit au tableau 2.

TABLEAU 2 RÉSUMÉ DES CONDITIONS DES ESSAIS DE CARACTÉRISATION

Mode de fonctionnement	Température après le refroidissement		Taux de chaulage	Essai n°
	°C visés	°C réels		
Système par voie sèche				
Fonct. à temp. normale	140	145	Normal	11
	140	151	Élevé	4
	140	152	Élevé (+ recyclage)	5
	140	151	Très élevé	3
Fonct. à temp. élevée	> 200	222	Très élevé	2
Fonct. à basse temp.	125	133	Normal (+ recyclage)	12
Système par voie humide-sèche				
Fonct. à temp. normale	150	156	Normal	6, 10
	150	158	Élevé	8
	150	158	Élevé (+ recyclage)	9
	150	156	Très élevé	7
Fonct. à basse temp.	135	141	Normal	13
	135	144	Normal (+ recyclage)	14

Les deux modes de fonctionnement ont été testés sous une gamme étendue de températures et de taux d'alimentation en chaux: il s'agissait des deux plus importantes variables indépendantes. Les autres variables de fonctionnement de l'usine-pilote ont été maintenues aussi constantes que possible durant les essais. Les types de données

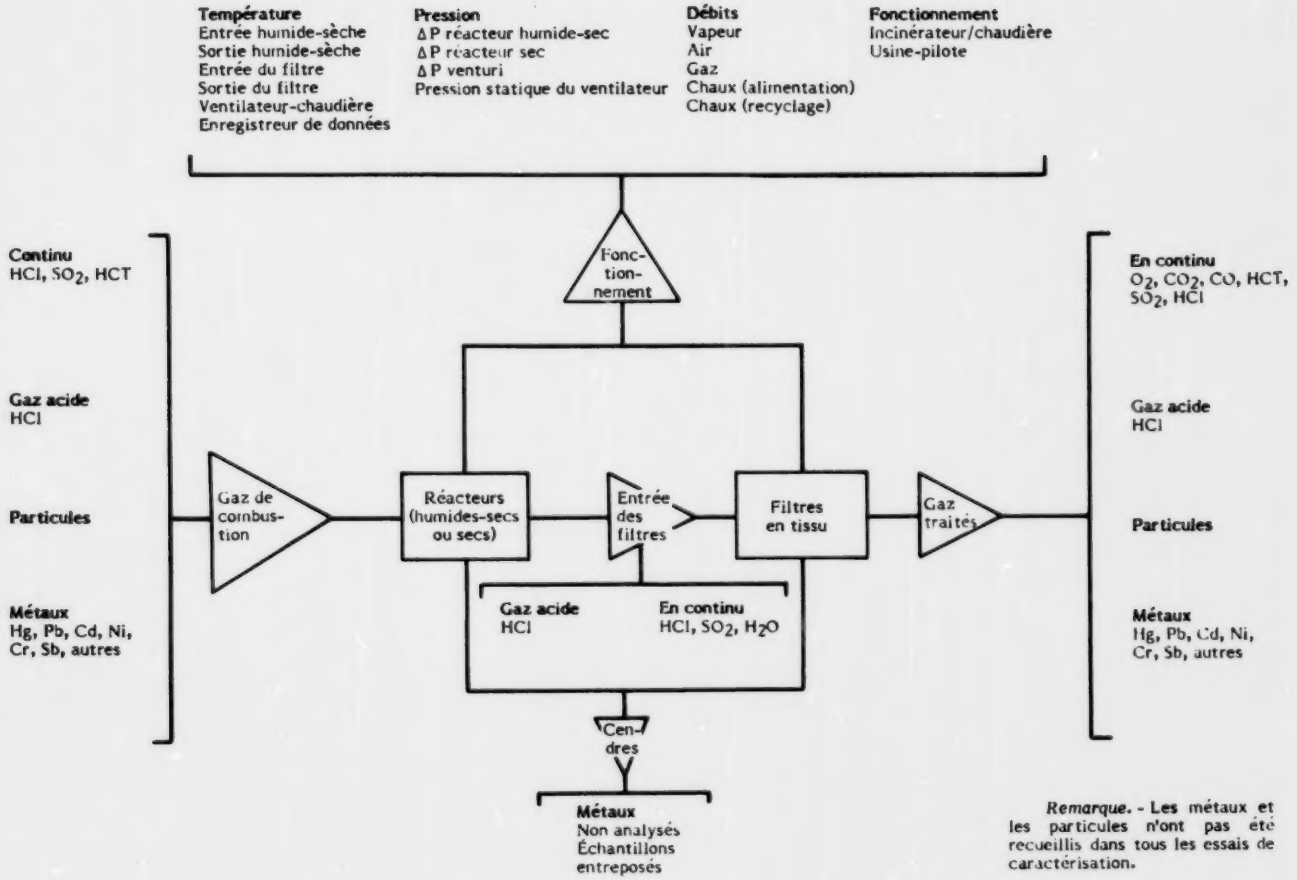


FIGURE 8 PARAMÈTRES MESURÉS LORS DES ESSAIS DE CARACTÉRISATION

recueillies par les analyseurs de gaz en continu, les échantillonnages manuels et les instruments de l'usine sont résumés à la figure 8. Toutes les données recueillies ont été entrées dans un micro-ordinateur, puis réduites à des tableaux et à des graphiques de synthèse, afin de faciliter l'examen des résultats. Ces résultats étaient soumis le lendemain aux responsables sur place, à des fins de contrôle.

Les températures normales du tableau 2 ont été choisies au début des essais pour représenter les températures normales prévues d'un système en grandeur réelle. On a choisi les "températures basses" afin d'observer les changements dans le rendement de la récupération à des températures inférieures à la "normale". Les températures "élevées" correspondent à des conditions de fonctionnement dans lesquelles il n'y a pas de refroidissement des gaz de combustion.

Le taux normal d'alimentation en chaux (chaulage) a été calculé en fonction d'une neutralisation de 400 ppm de HCl et de 100 ppm de SO_2, avec un surplus de 20 p. 100. Le taux "élevé" de chaulage était d'environ 20 p. 100 supérieur et le taux "très élevé", 70 p. 100 supérieur au taux normal. Le recyclage implique que les cendres récupérées dans le filtre en tissu sont ajoutées à la chaux fraîche à un taux égal à une ou deux fois le taux d'alimentation en chaux fraîche.

L'orientation du programme a été influencée par deux changements majeurs au début de la phase de caractérisation.

- Lorsqu'on s'est rendu compte que la concentration de particules à la sortie des filtres en tissu était extrêmement faible (moins de 2 mg/m^3N), il devint évident qu'il n'y avait pas assez de matières récupérées par le montage destiné aux particules à la sortie pour doser les métaux visés. Cela a limité la valeur de l'échantillonnage des particules à la sortie durant la caractérisation, et le mode d'échantillonnage a été modifié pour les essais de performance.
- Seulement un des trois analyseurs en continu du HCl semblait bien fonctionner. Étant donné que ce composé était le paramètre le plus important de l'étude durant les essais de caractérisation, on a décidé d'obtenir le plus possible d'échantillons de HCl au point milieu et à la sortie par échantillonnage manuel. À cette fin, l'échantillonnage visant les particules à ces deux endroits a été remplacé par un échantillonnage manuel visant le HCl. Après l'essai de performance n° 9, l'échantillonnage visant les particules à l'entrée a également été remplacé par l'échantillonnage manuel destiné au HCl à cet endroit.

On a également observé durant les essais de caractérisation que les concentrations de HCl dans les gaz de combustion étaient plus élevées durant les week-ends que durant la semaine. Ce fait fut attribué par l'incinération de certains déchets de bois en provenance d'une usine de pâte voisine durant les jours de semaine. Par la suite, on a demandé aux exploitants de l'incinérateur de minimiser la quantité de l'apport de cette matière à l'incinérateur n° 3 pour ne pas fausser les essais, ce qui fut fait.

5.2 Résultats des essais de caractérisation

Les taux d'élimination du SO_2 et du HCl étaient deux des variables d'émission les plus importantes des essais de caractérisation. On a tiré les conclusions suivantes:

- Dans le système par voie sèche, l'ajout des cendres récupérées dans la trémie du filtre à la chaux fraîche utilisée dans l'épurateur a amené peu ou pas de changement dans l'élimination du HCl et du SO_2.
- Dans le système par voie humide-sèche, fonctionnant à basse température, le recyclage des cendres provenant du filtre a accru l'élimination du SO_2 de 48 p. 100 à 78 p. 100. Cependant, à température normale et à haut taux de chaulage, il n'y avait aucune augmentation apparente de l'élimination du SO_2, bien que les essais de performance subséquents aient montré une certaine augmentation.
- Le prérefroidissement des gaz avant le passage dans l'épurateur a été beaucoup plus utile pour l'élimination du SO_2. La température des gaz ne semblait pas influer beaucoup sur le taux d'élimination du HCl qui était généralement bien au-delà de 90 p. 100.
- L'augmentation du taux de chaulage a accru le taux d'élimination du SO_2. Cette observation est développée dans la série des essais de performance. Le taux de chaulage ne semble pas influer beaucoup sur l'élimination du HCl.
- Les deux systèmes éliminaient de 95 à 98 p. 100 du HCl et de 80 à 85 p. 100 du SO_2, selon le mode de fonctionnement.
- Les rendements d'élimination étaient semblables pour les deux systèmes.
- Dans les deux systèmes, le filtre retenait très efficacement les cendres volantes et la chaux présentes dans les gaz, au point de réduire la charge en particules de 6000 mg/m^{3}N à l'entrée à moins de 2 mg/m^{3}N à la sortie.

5.3 Choix des conditions des essais de performance

Les conditions des essais de performance (EP) ont d'abord été choisies en fonction des résultats de la caractérisation et des résultats d'essais réalisés récemment

dans des installations semblables [6, 7, 8, 9]. Six conditions de fonctionnement ont été retenues, et deux séries d'essais ont été réalisés pour chacune d'entre elles afin de répéter les résultats. Après examen des résultats de caractérisation, en particulier pour le SO_2 et d'autres données de Flakt [7, 9], on a établi que la température de fonctionnement de l'épurateur était la variable indépendante la plus importante pour l'élimination des gaz acides, du mercure et des composés organiques, de sorte qu'on a testé les systèmes sous une gamme étendue de températures. Les conditions retenues figurent, avec leur justification, au tableau 3.

TABLEAU 3 CHOIX DES CONDITIONS DES ESSAIS DE PERFORMANCE

Mode de fonctionnement	Température visée en amont du filtre (°C)	Justification
Système par voie sèche	>200	Comparer les données obtenues quand les gaz ne sont pas refroidis avec les données aux autres températures.
	140	Repère pour la comparaison avec d'autres essais. État considéré normal pour l'usine en grandeur réelle.
	125	Observer des améliorations possibles du taux d'élimination des composés organiques à des températures inférieures à la normale.
	110	Pousser les limites du fonctionnement à basse température, en particulier pour voir l'effet sur l'élimination des composés organiques.
Système par voie humide-sèche	140	Repère pour la comparaison avec d'autres essais.
	140 et recyclage	Afin de savoir si le recyclage de la chaux améliore l'élimination des composés organiques et des gaz acides.

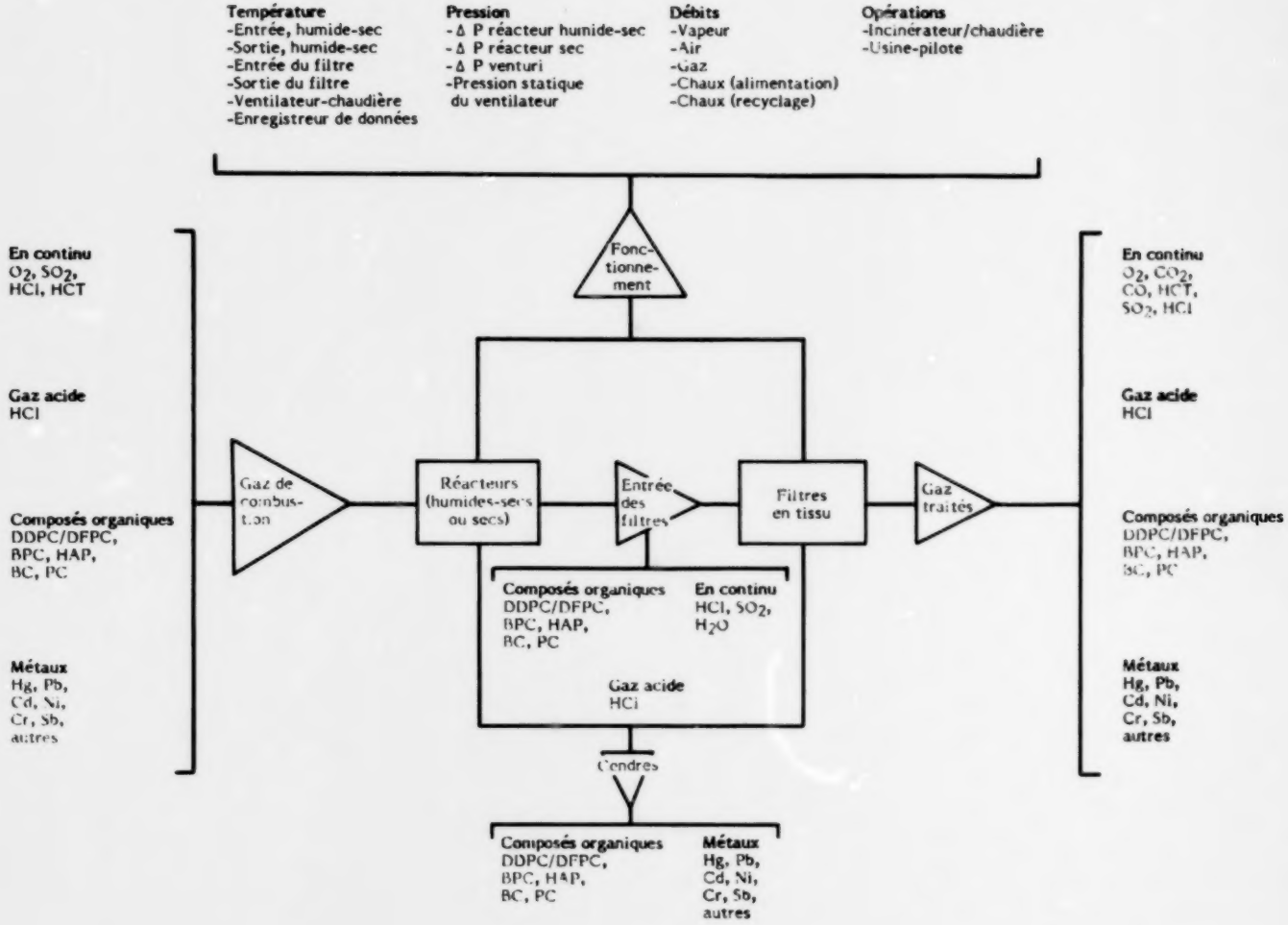


FIGURE 9 PARAMÈTRES MESURÉS LORS DES ESSAIS DE PERFORMANCE

Le taux de chaulage a été maintenu au niveau normal établi durant les essais de caractérisation, afin de permettre une étude plus rigoureuse de l'effet de la température sur le taux d'élimination.

Pour chacune des conditions retenues, l'échantillonnage et la collecte des données ont été réalisés conformément à la représentation de la figure 9.

6 RÉSULTATS DES ESSAIS DE PERFORMANCE

La section 6 présente les résultats des essais de performance et traite également des données déterminantes pour les opérations et des données courantes relatives aux gaz de combustion. Les parties suivantes présentent les résultats obtenus pour les dioxines et les furannes (section 7), les autres composés organiques (section 8), les métaux (section 9) et les gaz acides (section 10).

À partir des résultats de caractérisation, six conditions de fonctionnement ont été retenues pour les essais détaillés de performance, et deux échantillonnages complets ont été réalisés pour chaque condition. Le premier essai de performance (EP) a été désigné essai préliminaire parce que certaines pièces d'échantillonnage fonctionnaient mal. La description des essais et leurs numéros apparaissent au tableau 4.

TABLEAU 4 RÉSUMÉ DES CONDITIONS DES ESSAIS DE PERFORMANCE

Mode de fonctionnement	Température en amont du filtre en tissu		
	°C visé	°C réel*	EP nº
Système par voie sèche	>200	209	5, 6
	140	141	1, 2, 11
	125	125	3, 4
	110	113	12, 13
Système par voie humide-sèche	140	140	7, 8
	140 + recyclage	141 + recyclage	9, 10

*Données du thermocouple du système de commande de l'usine-pilote.

6.1 Comparaison des résultats des paires d'essais

Pour chacune des conditions du fonctionnement, il y a eu deux essais distincts, sauf dans le cas du fonctionnement par voie sèche à 140 °C pour lequel il y a eu trois essais, l'EP-1 constituant un essai préliminaire. Les paires d'essais ont permis l'établissement de moyennes et simplifié l'évaluation et la comparaison des six conditions de fonctionnement. Afin de déterminer si la moyenne prise sur deux essais était représentative des conditions, on a fait l'examen détaillé de toutes les données pour chacun des essais de chaque paire afin de repérer les similitudes et les différences.

En ce qui concerne les variables de fonctionnement, il a été assez facile de les maintenir identiques durant les deux essais de la paire. La température des gaz après leur refroidissement et le taux de chaulage pouvaient être maintenus très constants à la condition de fonctionnement choisie. Les opérations d'incinération ont été assez stables durant tout le programme d'essai, et représentatives d'une production normale de vapeur. Conséquemment, la moyenne des paires correspondait bien aux données de fonctionnement établies pour chacune des paires d'essais.

À l'entrée comme à la sortie, les dosages des métaux (sauf le mercure) étaient très semblables dans toutes les paires d'essais, de sorte qu'on a considéré que la moyenne était représentative à des fins de comparaison des données. Dans le cas du mercure, certains résultats obtenus à l'entrée différaient sensiblement d'un essai à l'autre, mais cela n'a pas influencé beaucoup les résultats à la sortie. Par conséquent, on a utilisé cette moyenne-là comme les autres pour comparer les résultats du mercure dans les différentes conditions d'essais.

Les dosages des composés organiques se ressemblent quelque peu mais diffèrent parfois beaucoup dans une même paire d'essais. Après examen de ces résultats, on a conclu qu'en général les moyennes donnaient une indication relative des taux d'émissions. Cependant, les résultats obtenus pour deux essais d'une même paire différaient beaucoup dans certains cas, et il faut en tenir compte lorsqu'on compare des moyennes de paires.

On a donc utilisé les moyennes pour comparer les conditions de fonctionnement et les émissions. Les moyennes obtenues à chaque point d'échantillonnage apparaissent aux figures 10 à 15, qui correspondent aux six conditions de fonctionnement utilisées pour les essais de performance.

6.2 Moyenne des conditions expérimentales

6.2.1 Données sur le fonctionnement de l'incinérateur et de l'usine-pilote. - Les données importantes sont résumées au tableau 5.

- **Incinérateur.** - L'incinérateur a fonctionné normalement et de manière stable pendant tous les essais de performance sauf l'EP-13; l'incinérateur a alors été plutôt instable toute la journée. Le programme d'essai n'a été interrompu qu'une fois (15 minutes) durant l'EP-8, par un blocage survenu au niveau de la chute d'alimentation de l'incinérateur. Durant les essais de performance, le débit moyen de la vapeur a varié entre 31 et 34 milliers de kilogrammes par heure. La température moyenne des gaz de combustion à la sortie de la chaudière de récupération se situait entre 278 °C et 303 °C.

PROGRAMME NATIONAL D'ESSAIS ET D'ÉVALUATION DES INCINÉRATEURS (PNEI)

TECHNIQUES DE DÉPOLLUTION DES GAZ DE COMBUSTION

SYSTÈME PAR VOIE SÈCHE
110 °C

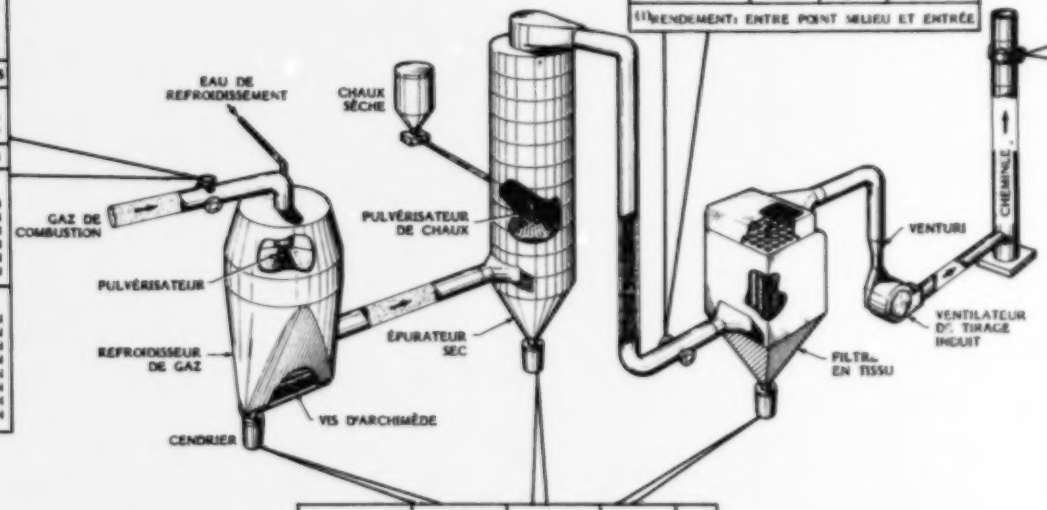
ENTRÉE - GAZ DE COMBUSTION		
GAZ		
- DÉBIT	1600	m^3N/h
- TEMPÉRATURE	279	°C
- HUMIDITÉ	15,6	%
- O_2	10,4	%
- HCT	N.A.	
- SO_2	120	ppm
- HCl	420	ppm
MONTAGES	**CONCENTRATIONS**	
HCl		
- moy. 15-30 mn	450	ppm
- 4 h	390	ppm
PARTICULES	7700	mg/m^3N
C. ORGANIQUES		
- DDPC	580	ng/m^3N
- DFPC	300	ng/m^3N
- BPC	32	ng/m^3N
- HAP	620	ng/m^3N
- BC	12 600	ng/m^3N
- PC	29 400	ng/m^3N
MÉTAUX		
- Hg	440	$\mu g/m^3N$
- As	150	$\mu g/m^3N$
- Cd	1300	$\mu g/m^3N$
- Cr	3100	$\mu g/m^3N$
- Pb	61 000	$\mu g/m^3N$
- Ni	1000	$\mu g/m^3N$
- Zn	99 000	$\mu g/m^3N$
- Sb	2000	$\mu g/m^3N$

POINT MILIEU - ENTRÉE DU FILTRE			TAUX % (1)
GAZ			
- DÉBIT	4440	m^3N/h	
- TEMPÉRATURE	111	°C	
- HUMIDITÉ	20,8	%	
- SO_2	24	ppm	80
- HCl	15	ppm	96
MONTAGES	**CONCENTRATIONS**		
C. ORGANIQUES			
- DDPC	310	ng/m^3N	47
- DFPC	270	ng/m^3N	11
- BPC	27	ng/m^3N	15
- HAP	470	ng/m^3N	24
- BC	9500	ng/m^3N	25
- PC	16 900	ng/m^3N	44

(1) RENDEMENT: ENTRE POINT MILIEU ET ENTRÉE

SORTIE - ÉMISSIONS			TAUX % (2)
GAZ			
- DÉBIT	4230	m^3N/h	
- TEMPÉRATURE	114	°C	
- HUMIDITÉ	20,9	%	
- O_2	12,7	%	
- CO_2	7,1	%	
- CO	140	ppm	
- HCT	5	ppm	N.A.
- SO_2	4	ppm	96
- HCl	7	ppm	96
MONTAGES	**CONCENTRATIONS**		
HCl			
- moy. 15-30 mn	4	ppm	99
- 4 h	2	ppm	99
C. ORGANIQUES			
- DDPC	0,2	ng/m^3N	>99
- DFPC	2,3	ng/m^3N	>99
- BPC	9	ng/m^3N	72
- HAP	100	ng/m^3N	84
- BC	610	ng/m^3N	95
- PC	820	ng/m^3N	97
MÉTAUX			
- Hg	40	$\mu g/m^3N$	91
- As	0,02	$\mu g/m^3N$	>99
- Cd	0,4	$\mu g/m^3N$	>99
- Cr	0,4	$\mu g/m^3N$	>99
- Pb	4	$\mu g/m^3N$	>99
- Ni	1,3	$\mu g/m^3N$	>99
- Zn	7	$\mu g/m^3N$	>99
- Sb	0,2	$\mu g/m^3N$	>99

(2) RENDEMENT: SYSTÈME AU COMPLET



CENDRES	TOUR DE CONDITIONNEMENT	RÉACTEUR SEC	FILTRE EN TISSU	
C. ORGANIQUES				
- DDPC	13	160	280	ng/g
- DFPC	10	87	160	ng/g
- BPC	0,2	0,8	15	ng/g
- HAP	33	35	440	ng/g
- BC	137	360	3200	ng/g
- PC	330	1000	6800	ng/g
MÉTAUX				
- Hg	8	23	230	µg/g
- As	3	6	38	µg/g
- Cd	38	60	290	µg/g
- Cr	210	320	170	µg/g
- Pb	1500	2500	3400	µg/g
- Ni	80	90	43	µg/g
- Zn	5200	8000	20 000	µg/g
- Sb	43	40	330	µg/g

CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT		
TEMPÉRATURE CIBLE	110	°C
RAPPORT STOECHIOMÉTRIQUE	1,16	
RECYCLAGE	aucun	
CHAUX - $Ca(OH)_2$	3,7	kg/h

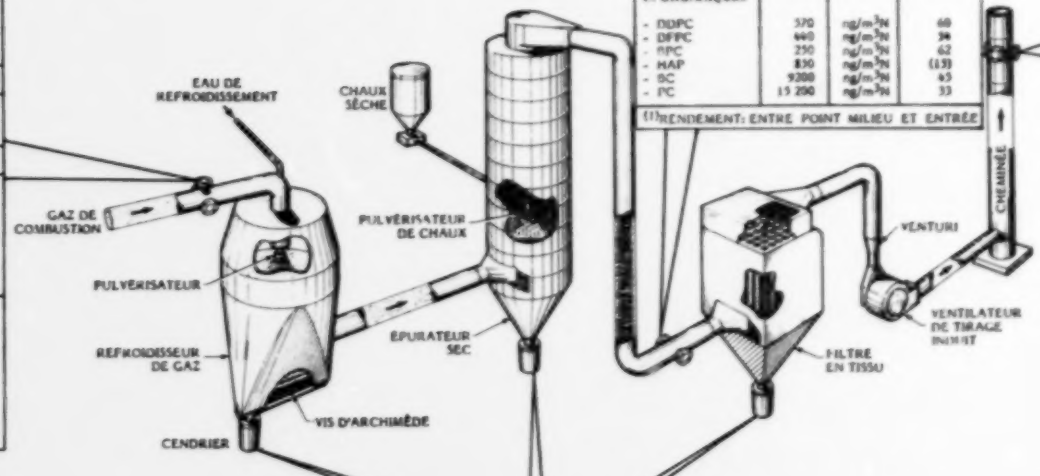
Remarques:
- N.D. signifie non décelé.
- Toutes les données sont corrigées pour des conditions sèches et 8 p. 100 d'oxygène.
- Toutes les données sont arrondies.
- N.A. signifie non disponible.

FIGURE 10 RÉSULTATS DES ESSAIS DE PERFORMANCE - SYSTÈME PAR VOIE SÈCHE, 110 °C (EP-12 et 13)

PROGRAMME NATIONAL D'ESSAIS ET D'ÉVALUATION DES INCINÉRATEURS (PEENI)
TECHNIQUES DE DÉPOLLUTION DES GAZ DE COMBUSTION

SYSTÈME PAR VOIE SÈCHE
125 °C

ENTRÉE - GAZ DE COMBUSTION		
GAZ		
- DÉBIT	3730	m^3N/h
- TEMPÉRATURE	264	°C
- HUMIDITÉ	14,7	%
- O_2	10,5	%
- HCT	3	ppm
- SO_2	120	ppm
- HCl	N.A.	
MONTAGES	CONCENTRATIONS	
HCl		
- moy. 15-30 mn	460	ppm
- 4 h	N.A.	
PARTICULES	7300	mg/m^3N
C. ORGANIQUES		
- DDPC	1400	ng/m^3N
- DFPC	940	ng/m^3N
- BPC	650	ng/m^3N
- HAP	740	ng/m^3N
- BC	16 800	ng/m^3N
- PC	22 600	ng/m^3N
MÉTAUX		
- Hg	480	$\mu g/m^3N$
- As	150	$\mu g/m^3N$
- Cd	1 300	$\mu g/m^3N$
- Cr	1900	$\mu g/m^3N$
- Pb	44 000	$\mu g/m^3N$
- Ni	1600	$\mu g/m^3N$
- Zn	108 000	$\mu g/m^3N$
- Sb	500	$\mu g/m^3N$



POINT MILIEU - ENTRÉE DU FILTRE (1)			TAUX %
GAZ			
- DÉBIT	4430	m^3N/h	
- TEMPÉRATURE	125	°C	
- HUMIDITÉ	18,3	%	
- SO_2	65	ppm	45
- HCl	69	ppm	N.A.
MONTAGES	CONCENTRATIONS		
C. ORGANIQUES			
- DDPC	570	ng/m^3N	60
- DFPC	440	ng/m^3N	34
- BPC	250	ng/m^3N	62
- HAP	830	ng/m^3N	(13)
- BC	9200	ng/m^3N	45
- PC	15 200	ng/m^3N	33

(1) RENDEMENT: ENTRE POINT MILIEU ET ENTRÉE

SORTIE - ÉMISSIONS (2)			TAUX %
GAZ			
- DÉBIT	4350	m^3N/h	
- TEMPÉRATURE	124	°C	
- HUMIDITÉ	19,0	%	
- O_2	12,4	%	
- CO_2	7,4	%	
- CO	180	ppm	
- HCT	4	ppm	N.A.
- SO_2	10	ppm	92
- HCl	9	ppm	N.A.
MONTAGES	CONCENTRATIONS		
HCl			
- moy. 15-30 mn	9	ppm	98
- 4 h	11	ppm	N.A.
C. ORGANIQUES			
- DDPC	N.D.	ng/m^3N	>99
- DFPC	N.D.	ng/m^3N	>99
- BPC	6	ng/m^3N	>99
- HAP	130	ng/m^3N	82
- BC	280	ng/m^3N	98
- PC	250	ng/m^3N	99
MÉTAUX			
- Hg	13	$\mu g/m^3N$	97
- As	0,04	$\mu g/m^3N$	>99
- Cd	0,4	$\mu g/m^3N$	>99
- Cr	0,4	$\mu g/m^3N$	>99
- Pb	2,7	$\mu g/m^3N$	>99
- Ni	0,4	$\mu g/m^3N$	>99
- Zn	5,0	$\mu g/m^3N$	>99
- Sb	0,4	$\mu g/m^3N$	>99

(2) RENDEMENT: SYSTÈME AU COMPLET

CENDRES	TOUR DE CONDITIONNEMENT	RÉACTEUR SEC	FILTRE EN TISSU	
C. ORGANIQUES				
- DDPC	14	68	370	ng/g
- DFPC	12	36	320	ng/g
- BPC	2	9	24	ng/g
- HAP	21	62	310	ng/g
- BC	390	560	3100	ng/g
- PC	90	900	8300	ng/g
MÉTAUX				
- Hg	3	36	300	µg/g
- As	5	7	50	µg/g
- Cd	30	70	340	µg/g
- Cr	210	270	1400	µg/g
- Pb	1400	2300	9100	µg/g
- Ni	160	170	50	µg/g
- Zn	4150	7600	19 700	µg/g
- Sb	45	47	350	µg/g

CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT		
TEMPÉRATURE CIBLE	125	°C
RAPPORT STOECHIOMÉTRIQUE	1,03	
RECYCLAGE	aucun	
CHAUX - $Ca(OH)_2$	3,6	kg/h

Remarques:
- N.D. signifie non décelé.
- Toutes les données sont corrigées pour des conditions sèches et 8 p. 100 d'oxygène.
- Toutes les données sont arrondies.
- N.A. signifie non disponible.

FIGURE 11 RÉSULTATS DES ESSAIS DE PERFORMANCE - SYSTÈME PAR VOIE SÈCHE, 125 °C (EP-3 et 4)

PROGRAMME NATIONAL D'ESSAIS ET D'ÉVALUATION DES INCINÉRATEURS
(PEENI)
TECHNIQUES DE DÉPOLLUTION DES GAZ DE COMBUSTION

SYSTÈME PAR VOIE SÈCHE
140 °C

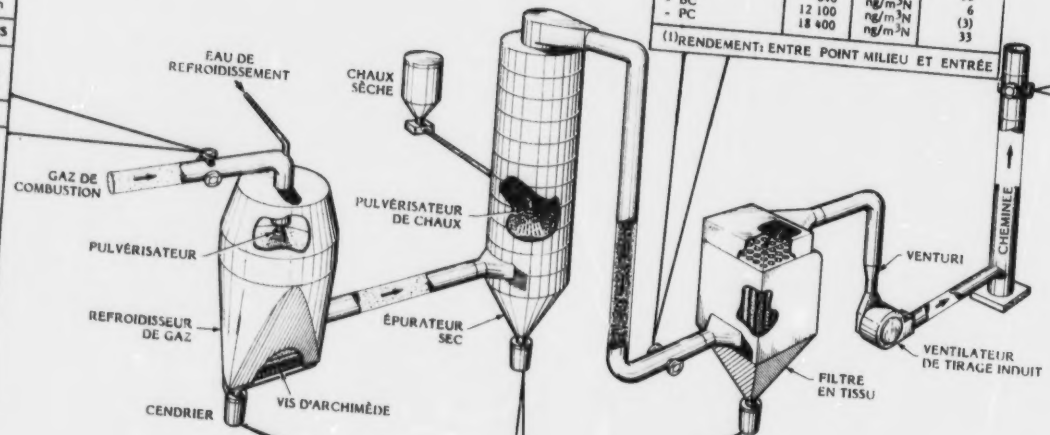
ENTRÉE - GAZ DE COMBUSTION		
GAZ		
- DÉBIT	3520	m^3N/h
- TEMPÉRATURE	264	°C
- HUMIDITÉ	15,8	%
- O_2	10,1	%
- HCT	N.A.	ppm
- SO_2	100	ppm
- HCl	480	ppm
MONTAGES	**CONCENTRATIONS**	
HCl		
- moy. 15-30 mn	440	ppm
- 4 h	430	ppm
PARTICULES	6300	mg/m^3N
C. ORGANIQUES		
- DDPC	1300	ng/m^3N
- DFPC	1000	ng/m^3N
- BPC	30	ng/m^3N
- HAP	680	ng/m^3N
- BC	11 700	ng/m^3N
- PC	27 400	ng/m^3N
MÉTAUX		
- Hg	320	$\mu g/m^3N$
- As	130	$\mu g/m^3N$
- Cd	1500	$\mu g/m^3N$
- Cr	2000	$\mu g/m^3N$
- Pb	34 000	$\mu g/m^3N$
- Ni	1300	$\mu g/m^3N$
- Zn	93 000	$\mu g/m^3N$
- Sb	1000	$\mu g/m^3N$

POINT MILIEU - ENTRÉE DU FILTRE			(1) TAUX %
GAZ			
- DÉBIT	4120	m^3N/h	
- TEMPÉRATURE	141	°C	
- HUMIDITÉ	18,6	%	
- SO_2	64	ppm	35
- HCl	130	ppm	73
MONTAGES	**CONCENTRATIONS**		
C. ORGANIQUES			
- DDPC	540	ng/m^3N	
- DFPC	630	ng/m^3N	57
- BPC	23	ng/m^3N	37
- HAP	640	ng/m^3N	33
- BC	12 100	ng/m^3N	6
- PC	18 400	ng/m^3N	(3) 33

(1)RENDEMENT: ENTRE POINT MILIEU ET ENTRÉE

SORTIE - ÉMISSIONS			(2) TAUX %
GAZ			
- DÉBIT	4170	m^3N/h	
- TEMPÉRATURE	136	°C	
- HUMIDITÉ	18,8	%	
- O_2	12,5	%	
- CO_2	7,5	%	
- CO	220	ppm	
- HCT	5	ppm	N.A.
- SO_2	61	ppm	38
- HCl	29	ppm	94
MONTAGES	**CONCENTRATIONS**		
HCl			
- moy. 15-30 mn	33		93
- 4 h	38		91
C. ORGANIQUES			
- DDPC	N.D.	ng/m^3N	>99
- DFPC	1	ng/m^3N	>99
- BPC	N.D.	ng/m^3N	>99
- HAP	110	ng/m^3N	84
- BC	220	ng/m^3N	98
- PC	330	ng/m^3N	99
MÉTAUX			
- Hg	20	$\mu g/m^3N$	>99
- As	0,04	$\mu g/m^3N$	>99
- Cd	N.D.	$\mu g/m^3N$	>99
- Cr	1,0	$\mu g/m^3N$	>99
- Pb	3,0	$\mu g/m^3N$	>99
- Ni	0,7	$\mu g/m^3N$	>99
- Zn	6,0	$\mu g/m^3N$	>99
- Sb	0,6	$\mu g/m^3N$	>99

(2)RENDEMENT: SYSTÈME AU COMPLET



CENDRES	TOUR DE CONDITIONNEMENT	RÉACTEUR SEC	FILTRE EN TISSU	
C. ORGANIQUES				
- DDPC	6	94	570	ng/g
- DFPC	4	68	380	ng/g
- BPC	0,3	1,8	14	ng/g
- HAP	14	112	500	ng/g
- BC	80	790	3300	ng/g
- PC	53	1200	8600	ng/g
MÉTAUX				
- Hg	2	29	150	µg/g
- As	5	10	26	µg/g
- Cd	35	65	320	µg/g
- Cr	240	260	190	µg/g
- Pb	1300	2100	7000	µg/g
- Ni	140	105	30	µg/g
- Zn	4100	8000	18 100	µg/g
- Sb	25	40	290	µg/g

CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT		
TEMPÉRATURE CIBLE	140	°C
RAPPORT STOECHIOMÉTRIQUE	1,04	
RECYCLAGE	aucun	
CHAUX - $Ca(OH)_2$	3,7	kg/h

Remarques:
- N.D. signifie non décelé.
- Toutes les données sont corrigées pour des conditions sèches et 8 p. 100 d'oxygène.
- Toutes les données sont arrondies.
- N.A. signifie non disponible.

FIGURE 12 RÉSULTATS DES ESSAIS DE PERFORMANCE - SYSTÈME PAR VOIE SÈCHE, 140 °C (EP-2 et 11)

PROGRAMME NATIONAL D'ESSAIS ET D'ÉVALUATION DES INCINÉRATEURS
(PEENI)
TECHNIQUES DE DÉPOLLUTION DES GAZ DE COMBUSTION

SYSTÈME PAR VOIE SÈCHE
> 200 °C

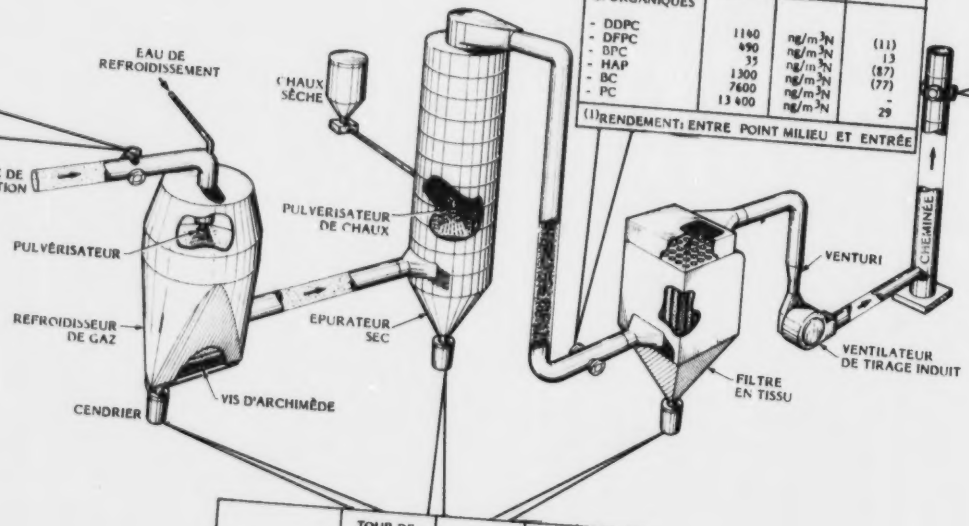
ENTRÉE - GAZ DE COMBUSTION		
GAZ		
- DÉBIT	3010	m^3N/h
- TEMPÉRATURE	261	°C
- HUMIDITÉ	14,3	%
- O_2	10,7	%
- HCT	N.A.	
- SO_2	120	ppm
- HCl	N.A.	
MONTAGES	**CONCENTRATIONS**	
HCl		
- moy. 15-30 mn	390	ppm
- 4 h	280	ppm
PARTICULES	5700	mg/m^3N
C. ORGANIQUES		
- DDPC	1030	ng/m^3N
- DFPC	560	ng/m^3N
- BPC	19	ng/m^3N
- HAP	730	ng/m^3N
- BC	7600	ng/m^3N
- PC	18 800	ng/m^3N
MÉTAUX		
- Hg	450	$\mu g/m^3N$
- As	80	$\mu g/m^3N$
- Cd	1000	$\mu g/m^3N$
- Cr	1900	$\mu g/m^3N$
- Pb	35 000	$\mu g/m^3N$
- Ni	830	$\mu g/m^3N$
- Zn	91 000	$\mu g/m^3N$
- Sb	1500	$\mu g/m^3N$

POINT MILIEU - ENTRÉE DU FILTRE			TAUX % (1)
GAZ			
- DÉBIT	3650	m^3N/h	
- TEMPÉRATURE	209	°C	
- HUMIDITÉ	12,9	%	
- SO_2	100	ppm	11
- HCl	200	ppm	N.A.
MONTAGES	**CONCENTRATIONS**		
C. ORGANIQUES			
- DDPC	1140	ng/m^3N	(11)
- DFPC	490	ng/m^3N	13
- BPC	35	ng/m^3N	(87)
- HAP	1300	ng/m^3N	(77)
- BC	7600	ng/m^3N	-
- PC	13 400	ng/m^3N	29

(1) RENDEMENT: ENTRE POINT MILIEU ET ENTRÉE

SORTIE - ÉMISSIONS			TAUX % (2)
GAZ			
- DÉBIT	3600	m^3N/h	
- TEMPÉRATURE	183	°C	
- HUMIDITÉ	12,7	%	
- O_2	12,9	%	
- CO_2	7,3	%	
- CO	160	ppm	
- HCT	4	ppm	N.A.
- SO_2	83	ppm	29
- HCl	91	ppm	N.A.
MONTAGES	**CONCENTRATIONS**		
HCl			
- moy. 15-30 mn	91	ppm	77
- 4 h	100	ppm	62
C. ORGANIQUES			
- DDPC	6	ng/m^3N	>99
- DFPC	1	ng/m^3N	>99
- BPC	9	ng/m^3N	54
- HAP	15	ng/m^3N	98
- BC	2900	ng/m^3N	62
- PC	8400	ng/m^3N	56
MÉTAUX			
- Hg	610	$\mu g/m^3N$	(36)
- As	0,07	$\mu g/m^3N$	>99
- Cd	5,6	$\mu g/m^3N$	>99
- Cr	0,5	$\mu g/m^3N$	>99
- Pb	6	$\mu g/m^3N$	>99
- Ni	2	$\mu g/m^3N$	>99
- Zn	12	$\mu g/m^3N$	>99
- Sb	0,5	$\mu g/m^3N$	>99

(2) RENDEMENT: SYSTÈME AU COMPLET



CENDRES	TOUR DE CONDITIONNEMENT	RÉACTEUR SEC	FILTRE EN TISSU	
C. ORGANIQUES				
- DDPC	6	31	780	ng/g
- DFPC	5	22	320	ng/g
- BPC	0,6	1	3	ng/g
- HAP	12	60	190	ng/g
- BC	110	360	2500	ng/g
- PC	55	420	6300	ng/g
MÉTAUX				
- Hg	2	25	190	µg/g
- As	7	6	34	µg/g
- Cd	39	79	360	µg/g
- Cr	280	350	170	µg/g
- Pb	1300	2300	9400	µg/g
- Ni	110	110	63	µg/g
- Zn	4600	8100	12 100	µg/g
- Sb	63	70	340	µg/g

CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT		
TEMPERATURE CIBLE	200	°C
RAPPORT STOECHIOMÉTRIQUE	1,69	
RECYCLAGE	aucun	
CHAUX - $Ca(OH)_2$	3,6	kg/h

Remarques:
- N.D. signifie non décelé.
- Toutes les données sont corrigées pour des conditions sèches et 8 p. 100 d'oxygène.
- Toutes les données sont arrondies.
- N.A. signifie non disponible.

FIGURE 13 RÉSULTATS DES ESSAIS DE PERFORMANCE - SYSTÈME PAR VOIE SÈCHE, > 200 °C (EP-5 et 6)

PROGRAMME NATIONAL D'ESSAIS ET D'ÉVALUATION DES INCINÉRATEURS (PEENI)

TECHNIQUES DE DÉPOLLUTION DES GAZ DE COMBUSTION

SYSTÈME PAR VOIE HUMIDE-SÈCHE 140 °C, SANS RECYCLAGE

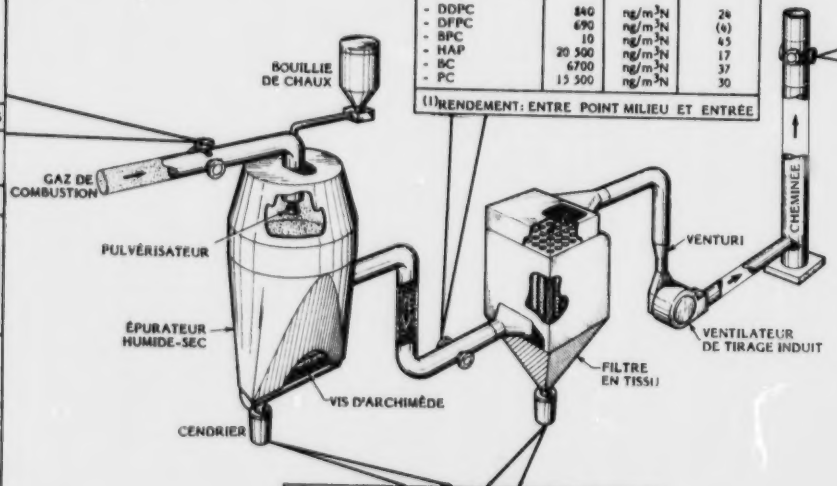
ENTRÉE - GAZ DE COMBUSTION		
GAZ		
- DÉBIT	3650	m^3N/h
- TEMPÉRATURE	263	°C
- HUMIDITÉ	15,2	%
- O_2	9,9	%
- HCT	N.A.	
- SO_2	110	ppm
- HCl	330	ppm
MONTAGES	**CONCENTRATIONS**	
HCl		
- moy. 15-30 mn	410	ppm
- 4 h	330	ppm
PARTICULES	5600	mg/m^3N
C. ORGANIQUES		
- DDPC	1100	ng/m^3N
- DFPC	660	ng/m^3N
- BPC	18	ng/m^3N
- HAP	24 800	ng/m^3N
- BC	10 600	ng/m^3N
- PC	22 200	ng/m^3N
MÉTAUX		
- Hg	190	$\mu g/m^3N$
- As	110	$\mu g/m^3N$
- Cd	1200	$\mu g/m^3N$
- Cr	1400	$\mu g/m^3N$
- Pb	36 000	$\mu g/m^3N$
- Ni	700	$\mu g/m^3N$
- Zn	77 000	$\mu g/m^3N$
- Sb	1000	$\mu g/m^3N$

POINT MILIEU - ENTRÉE DU FILTRE			(1) TAUX %
GAZ			
- DÉBIT	4180	m^3N/h	
- TEMPÉRATURE	139	°C	
- HUMIDITÉ	19,2	%	
- SO_2	67	ppm	37
- HCl	150	ppm	55
MONTAGES	**CONCENTRATIONS**		
C. ORGANIQUES			
- DDPC	840	ng/m^3N	24
- DFPC	690	ng/m^3N	(4)
- BPC	10	ng/m^3N	45
- HAP	20 500	ng/m^3N	17
- BC	6700	ng/m^3N	37
- PC	15 500	ng/m^3N	30

(1) RENDEMENT: ENTRE POINT MILIEU ET ENTRÉE

SORTIE - ÉMISSIONS			(2) TAUX %
GAZ			
- DÉBIT	4220	m^3N/h	
- TEMPÉRATURE	135	°C	
- HUMIDITÉ	19,1	%	
- O_2	11,8	%	
- CO_2	8,3	%	
- CO	130	ppm	
- HCT	6	ppm	N.A.
- SO_2	35	ppm	67
- HCl	29	ppm	91
MONTAGES	**CONCENTRATIONS**		
HCl			
- moy. 15-30 mn	36	ppm	91
- 4 h	47	ppm	86
C. ORGANIQUES			
- DDPC	N.D.	ng/m^3N	>99
- DFPC	N.D.	ng/m^3N	>99
- BPC	N.D.	ng/m^3N	>99
- HAP	110	ng/m^3N	>99
- BC	80	ng/m^3N	>99
- PC	240	ng/m^3N	>99
MÉTAUX			
- Hg	10,0	$\mu g/m^3N$	95
- As	0,04	$\mu g/m^3N$	>99
- Cd	N.D.	$\mu g/m^3N$	>99
- Cr	0,25	$\mu g/m^3N$	>99
- Pb	1	$\mu g/m^3N$	>99
- Ni	1	$\mu g/m^3N$	>99
- Zn	5	$\mu g/m^3N$	>99
- Sb	0,3	$\mu g/m^3N$	>99

(2) RENDEMENT: SYSTÈME AU COMPLET



CENDRES	RÉACTEUR DE PULVÉRISATION	FILTRE EN TISSU	
C. ORGANIQUES			
- DDPC	6	160	ng/g
- DFPC	5	130	ng/g
- BPC	0,2	5	ng/g
- HAP	310	2300	ng/g
- BC	180	1800	ng/g
- PC	44	2700	ng/g
MÉTAUX			
- Hg	2	70	µg/g
- As	5	15	µg/g
- Cd	30	160	µg/g
- Cr	170	190	µg/g
- Pb	1300	5100	µg/g
- Ni	70	100	µg/g
- Zn	3900	12 000	µg/g
- Sb	35	150	µg/g

CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT		
TEMPÉRATURE CIBLE	140	°C
RAPPORT STOECHIOMÉTRIQUE	1,19	
RECYCLAGE	aucun	
CHAUX - $Ca(OH)_2$	3,5	kg/h

Remarques:
- N.D. signifie non décelé.
- Toutes les données sont corrigées pour des conditions sèches et 8 p. 100 d'oxygène.
- Toutes les données sont arrondies.
- N.A. signifie non disponible.

FIGURE 14 RÉSULTATS DES ESSAIS DE PERFORMANCE - VOIE HUMIDE-SÈCHE, 140 °C, SANS RECYCLAGE (EP-7 et EP-8)

PROGRAMME NATIONAL D'ESSAIS ET D'ÉVALUATION DES INCINÉRATEURS
(PEEN)
TECHNIQUES DE DÉPOLLUTION DES GAZ DE COMBUSTION

SYSTÈME PAR VOIE HUMIDE-SÈCHE
140 °C, AVEC RECYCLAGE

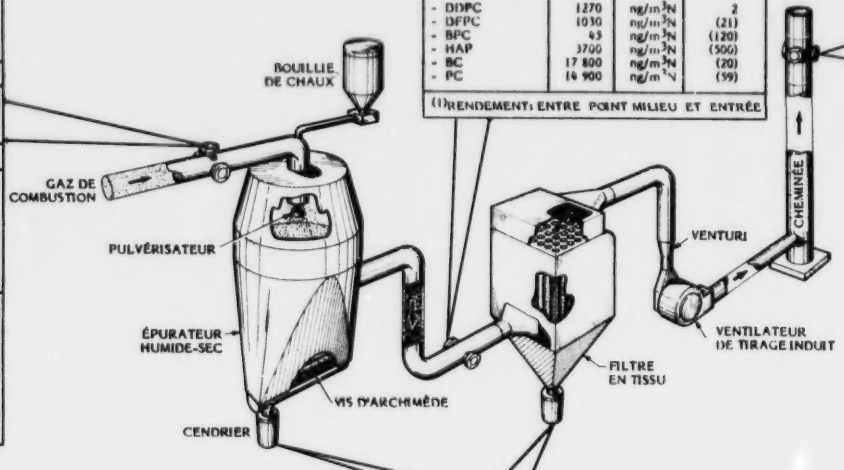
ENTRÉE - GAZ DE COMBUSTION		
GAZ		
- DÉBIT	3560	m^3N/h
- TEMPÉRATURE	271	°C
- HUMIDITÉ	14,5	%
- O_2	10,9	%
- HCT	N.A.	
- SO_2	110	ppm
- HCl	470	ppm
MONTAGES	**CONCENTRATIONS**	
HCl		
- moy. 15-30 mn	450	ppm
- 4 h	370	ppm
PARTICULES	7200	mg/m^3N
C. ORGANIQUES		
- DDPC	1300	ng/m^3N
- DFPC	850	ng/m^3N
- BPC	21	ng/m^3N
- HAP	650	ng/m^3N
- BC	14 900	ng/m^3N
- PC	9 400	ng/m^3N
MÉTAUX		
- Hg	360	$\mu g/m^3N$
- As	130	$\mu g/m^3N$
- Cd	1100	$\mu g/m^3N$
- Cr	1700	$\mu g/m^3N$
- Pb	34 000	$\mu g/m^3N$
- Ni	2500	$\mu g/m^3N$
- Zn	88 000	$\mu g/m^3N$
- Sb	2200	$\mu g/m^3N$

POINT MILIEU - ENTRÉE DU FILTRE			TAUX % (1)
GAZ			
- DÉBIT	4110	m^3N/h	
- TEMPÉRATURE	141	°C	
- HUMIDITÉ	19,1	%	
- SO_2	70	ppm	35
- HCl	130	ppm	68
MONTAGES	**CONCENTRATIONS**		
C. ORGANIQUES			
- DDPC	1270	ng/m^3N	2
- DFPC	1030	ng/m^3N	(21)
- BPC	45	ng/m^3N	(120)
- HAP	3700	ng/m^3N	(500)
- BC	17 800	ng/m^3N	(20)
- PC	14 900	ng/m^3N	(59)

(1) RENDEMENT: ENTRE POINT MILIEU ET ENTRÉE

SORTIE - ÉMISSIONS			TAUX % (2)
GAZ			
- DÉBIT	4090	m^3N/h	
- TEMPÉRATURE	13[illegible]	°C	
- HUMIDITÉ	19,[illegible]	%	
- O_2	12,[illegible]	%	
- CO_2	7,[illegible]	%	
- CO	170	ppm	
- HCT	4	ppm	
- SO_2	43	ppm	60
- HCl	42	ppm	91
MONTAGES	**CONCENTRATIONS**		
HCl			
- moy. 30 mn	40	ppm	91
- 4 h	46	ppm	88
C. ORGANIQUES			
- DDPC	0,4	ng/m^3N	>99
- DFPC	0,9	ng/m^3N	>99
- BPC	N.D.	ng/m^3N	>99
- HAP	130	ng/m^3N	79
- BC	180	ng/m^3N	99
- PC	370	ng/m^3N	96
MÉTAUX			
- Hg	19	$\mu g/m^3N$	95
- As	0,03	$\mu g/m^3N$	>99
- Cd	N.D.	$\mu g/m^3N$	>99
- Cr	0,7	$\mu g/m^3N$	>99
- Pb	6	$\mu g/m^3N$	>99
- Ni	2	$\mu g/m^3N$	>99
- Zn	6	$\mu g/m^3N$	99
- Sb	0,6	$\mu g/m^3N$	>99

(2) RENDEMENT: SYSTÈME AU COMPLET



CENDRES	RÉACTEUR DE PULVÉRISATION	FILTRE EN TISSU	
C. ORGANIQUES			
- DDPC	12	230	ng/g
- DFPC	8	170	ng/g
- BPC	0,2	3	ng/g
- HAP	44	390	ng/g
- BC	90	1780	ng/g
- PC	110	4000	ng/g
MÉTAUX			
- Hg	5	120	µg/g
- As	5	26	µg/g
- Cd	40	200	µg/g
- Cr	210	220	µg/g
- Pb	1600	6500	µg/g
- Ni	130	95	µg/g
- Zn	4300	14 000	µg/g
- Sb	50	260	µg/g

CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT		
TEMPÉRATURE CIBLE	140	°C
RAPPORT STOECHIOMÉTRIQUE	1,10	
RECYCLAGE	200	%
CHAUX - $Ca(OH)_2$	3,4	kg/h

Remarques:
- N.D. signifie non décelé.
- Toutes les données sont corrigées pour des conditions sèches et 8 p. 100 d'oxygène.
- Toutes les données sont arrondies.
- N.A. signifie non disponible.

FIGURE 15 RÉSULTATS DES ESSAIS DE PERFORMANCE - SYSTÈME PAR VOIE HUMIDE-SÈCHE, 140 °C (EP-9 et 10)

Les exploitants de l'incinérateur ont gardé l'unité nº 3 stable et ont évité de l'alimenter en déchets de bois provenant d'une usine voisine de pâte et papier.

TABLEAU 5 RÉSUMÉ DES PRINCIPAUX PARAMÈTRES DE FONCTIONNEMENT

	Système par voie sèche				Système par voie humide-sèche	
	110 °C	125 °C	140 °C	>200 °C	140 °C	140 °C + recyclage
INCINÉRATEUR						
- Débit de la vapeur (kg/h x 10^3)	32,8	33,4	33,2	33,0	32,1	31,3
- Température du gaz, sortie de la chaudière (°C)	303	287	291	287	278	293
FILTRE EN TISSU						
- Chute de pression (cm, manomètre à eau)	15,7	14,4	14,9	14,7	15,2	15,9
CHAUX						
- Débit (kg/h)	3,7	3,6	3,7	3,6	3,5	3,5
TEMPÉRATURE (°C)*						
- À l'entrée de l'usine-pilote	267	258	261	253	254	263
- À l'entrée du filtre en tissu	113	125	142	209	140	141

* Données du thermocouple du système de commande de l'usine-pilote.

- **Usine-pilote.** - Les principaux paramètres de fonctionnement de l'usine-pilote sont la chute de pression dans le filtre en tissu, le débit de la chaux hydratée et la température des gaz de combustion après refroidissement. La chute de pression dans le filtre dépendait du réglage manuel de la fréquence des pulsations d'air: on recherchait une chute de pression moyenne entre 14 cm et 16 cm dans le manomètre à eau. Le débit de la bouillie de chaux pouvait être maintenu en deçà de 15 p. 100 du débit retenu pour l'essai. Le débit de la pompe d'alimentation en bouillie de chaux devait être légèrement augmenté

durant l'essai, à mesure que le niveau de la bouillie diminuait dans le réservoir et modifiait la pression dans la pompe de transfert. Le système d'alimentation en chaux sèche n'avait généralement pas besoin de réglage durant l'essai. Le taux d'alimentation en chaux sèche a varié de moins de 10 p. 100 durant chacun des essais. La température des gaz de combustion après refroidissement (à l'entrée du filtre en tissu) a varié de ±3 °C durant chacun des essais.

6.2.2 Données courantes relatives aux gaz de combustion. - Les paramètres courants relatifs au gaz comme le débit et la composition sont présentés ici.

- **Débit des gaz de combustion.** - Le tableau 6 donne le débit des gaz de combustion aux trois points d'échantillonnage.

TABLEAU 6 DÉBIT DES GAZ DE COMBUSTION

	Système par voie sèche				Système par voie humide-sèche	
	110 °C	125 °C	140 °C	>200 °C	140 °C	140 °C + recyclage
Débit réel (m^3/h)						
- Point milieu	7130	7150	7030	6650	7080	7010
m^3N/h (sec)*						
- Entrée	3600	3730	3520	3010	3650	3660
- Milieu	4440	4430	4120	3650	4180	4110
- Sortie	4230	4350	4170	3600	4220	4090

* Les conditions normales sont 25 °C et 101,325 kPa.

Le débit des gaz de combustion lors de chaque essai et durant tout le programme a été fixé à environ 7000 m^3 réels par heure au niveau du filtre en tissu et maintenu constant par le contrôle de la chute de pression au niveau du venturi en amont du ventilateur. Les différences observées entre les essais d'une même paire sont faibles, de sorte que les moyennes ont été utilisées pour chaque condition de fonctionnement.

Les infiltrations d'air dans les épurateurs étaient d'environ 20 p. 100, comme on le voit en comparant les données pour l'entrée et le milieu au tableau 6. On ajoutait un peu d'air intentionnellement au niveau du pulvérisateur de chaux. Presque tout l'air ajouté a été attribué aux nombreux montages d'échantillonnage utilisés durant les essais. Cependant, l'entrée d'air au niveau du filtre en tissu (entre le milieu et la sortie) était insignifiante. Pour pouvoir comparer les données en provenance des trois points d'échantillonnage, on a tenu compte de l'infiltration d'air en ajustant toutes les concentrations pour 8 p. 100 d'oxygène, ce qui est semblable à la base de correction de 12 p. 100 de CO_2. Étant donné que l'oxygène a été mesuré à l'entrée comme à la sortie, mais que le CO_2 n'a été mesuré qu'à la sortie, on a choisi l'oxygène comme base commune pour la comparaison des données. Comme l'infiltration d'air au niveau du filtre était insignifiante, on a supposé que la quantité d'oxygène au point milieu était la même qu'à la sortie.

- **Composition des gaz.** - Les paramètres ordinaires de la combustion des gaz mesurés à la sortie figurent au tableau 7.

TABLEAU 7 COMPOSITION DES GAZ DE COMBUSTION À LA SORTIE

	Système par voie sèche				Système par voie humide-sèche	
	110 °C	125 °C	140 °C	>200 °C	140 °C	140 °C + recyclage
CO_2 (%)	7,1	7,4	7,5	7,3	8,3	7,5
O_2 (%)	12,7	12,4	12,5	12,9	11,8	12,5
CO (ppm)	140	180	220	160	130	170
HCT (ppm)	5	4	5	4	4	4

Pendant presque toute la durée du programme d'essai, on a noté peu de changement dans la composition des gaz de combustion. Les hydrocarbures totaux (HCT) étaient présents au seuil de détection des analyseurs et n'ont pas varié de façon significative. Les concentrations de O_2 et de CO_2 ont peu varié sauf lors du fonctionnement par voie humide-sèche. Quoiqu'il en soit, ces fluctuations étaient considérées

comme normales. Dans le cas du CO, on a observé plus de fluctuations, ce qui est normal pour les incinérateurs plus anciens brûlant des déchets non conditionnés. Dans l'ensemble, la composition des gaz semble typique d'un incinérateur de déchets non conditionnés fonctionnant normalement.

- **Concentration des particules.** - La concentration des particules provenant de l'incinérateur se situait entre 5500 et 7700 mg par mètre cube normal, pondérée pour 8 p. 100 d'oxygène, ce qui est typique des émissions non épurées d'un incinérateur de déchets non conditionnés [8, 10]. Les résultats ventilés par condition de fonctionnement apparaissent au tableau 8.

TABLEAU 8 CONCENTRATIONS DES PARTICULES À L'ENTRÉE

	Système par voie sèche				Système par voie humide-sèche	
	110 °C	125 °C	140 °C	>200 °C	140 °C	140 °C + recyclage
Particules à l'entrée (mg/m^3N à 8 % de O_2)	7710	7260	6250	5740	5560	7190

Les essais de caractérisation ayant révélé des concentrations de particules extrêmement faibles à la sortie du filtre (moins de 2 mg par mètre cube normal), aucune mesure n'a été réalisée durant les essais de performance. On a utilisé le montage conçu pour les particules pour l'échantillonnage destiné aux métaux.

Plusieurs autres études indiquent que les émissions typiques au niveau du filtre sont de l'ordre de 4 à 40 mg par mètre cube normal (m^3N). Ainsi, les installations à épurateur par voie sèche et à filtre en tissu de Flakt à Sysav en Suède [7] ainsi qu'à Kempten [9] et à Geiselballach en RFA [12] ont toutes réalisé des émissions de 4 mg/m^3N à 5 mg/m^3N. Un système à épurateur sec et à filtre en tissu utilisé en complément d'un incinérateur de déchets dangereux en Finlande a produit des émissions de 10 mg/m^3N à 20 mg/m^3N dans la cheminée [11]. On signale qu'un système à épurateur sec et à filtre en tissu à Tsushima au Japon a émis une concentration aussi faible que 25 mg/m^3N, mais en général, les concentrations étaient beaucoup plus élevées [8]. Par comparaison, l'électrofiltre à trois champs (garanti pour 65 mg/m^3N) à Westchester (N.Y.) a émis environ

35 mg/m^{3}N lors d'un essai récent [13]. On indique que l'électrofiltre à quatre champs de Baltimore a atteint un taux d'émission de particules de 20 mg/m^{3}N [4].

Les particules émises par l'usine-pilote de Flakt étaient du même ordre de grandeur que celles des installations de Flakt en grandeur réelle. De nouveaux filtres en Téflon® et un amortisseur de dérivation étanche ont contribué à cette concentration très faible. Tel que prévu, les émissions étaient inférieures à celles produites généralement par les électrofiltres de grande efficacité.

- **Taux de récupération des cendres.** - Toutes les cendres éliminées par les récipients ont été recueillies et pesées après chaque essai. Cependant, une partie des cendres restait accrochée aux parois de certains récipients et, en particulier dans le cas des filtres en tissu, les données n'étaient pas assez exactes pour un bilan pondéral. La distribution approximative de toutes les cendres recueillies dans l'usine-pilote a été estimée par Flakt et apparaît au tableau 9. Les proportions sont de quelque utilité lorsqu'on examine les concentrations des divers polluants présents dans les cendres.

TABLEAU 9 PROPORTION DE CENDRES RECUEILLIES DANS CHAQUE RÉCIPIENT (à l'exclusion de l'incinérateur et de la chaudière)

Source des cendres	Système par voie sèche	Système par voie humide-sèche
Épurateur humide-sec (ou tour de conditionnement)	30 %	33 %
Épurateur sec	40 %	-
Filtre en tissu	30 %	67 %
	100 %	100 %

7 DIOXINES ET FURANNES

Afin d'étudier le problème des émissions de dibenzodioxines polychlorées (DDPC) et de dibenzofurannes polychlorés (DFPC) par les usines d'incinération à valorisation énergétique, nous avons mesuré la concentration de ces composés dans les gaz de combustion à l'entrée, au milieu et à la sortie de l'usine-pilote ainsi que dans les cendres des trémies des épurateurs et des filtres en tissu. Les données obtenues sont résumées sous forme de tableaux et de graphiques dans la présente section. Le rendement de l'épuration sert à évaluer la performance du système. La répartition des homologues est illustrée puisque la toxicité de chaque groupe d'homologues est différente. Chaque groupe de données est accompagné des principales observations et de leur interprétation.

7.1 Dioxines dans les gaz de combustion

La concentration de dioxines (DDPC) dans les gaz de combustion aux trois points d'échantillonnage et le rendement de l'épuration pour différentes conditions d'exploitation sont indiqués au tableau 10. La concentration de DDPC dans les gaz aux trois points d'échantillonnage est également illustrée sous forme d'histogrammes à colonnes à la figure 16 en vue de montrer l'effet des épurateurs et du filtre en tissu sur l'élimination des DDPC.

TABLEAU 10 CONCENTRATIONS DE DDPC (ng/m^3N à 8 p. 100 de O_2) DANS LES GAZ DE COMBUSTION ET RENDEMENT DE L'ÉPURATION

Conditions de fonctionnement	Système par voie sèche				Système par voie humide-sèche	
	110 °C	125 °C	140 °C*	>200 °C	140 °C	140 °C + recyclage
Entrée (ng/m^3N)	580	1400	1300	1030	1100	1300
Milieu (ng/m^3N)	310	570	540	1140	840	1270
Sortie (ng/m^3N)	0,2	N.D.	N.D.	6,1	N.D.	0,4
Rendement (%)						
- Entrée et milieu	47	60	57	(11)**	24	2
- Global	>99,9	>99,9	>99,9	>99,4	>99,9	>99,9

* D'après les résultats d'un seul test.
** Les chiffres entre parenthèses correspondent à des valeurs négatives.
N.D. : non décelé.

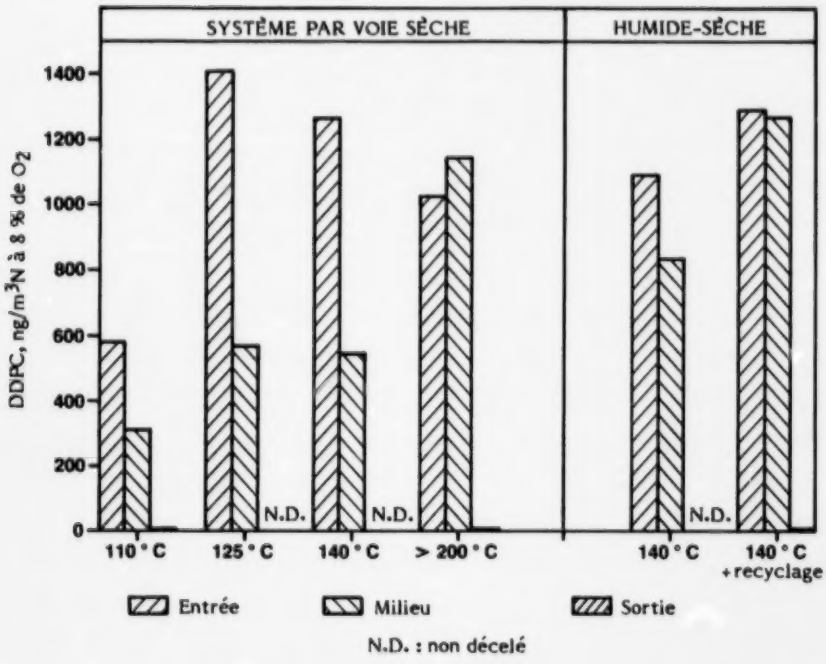


FIGURE 16 CONCENTRATIONS DE DDPC DANS LES GAZ DE COMBUSTION

Les données sur les dioxines montrent les principaux points suivants:

- L'élimination globale des DDPC était considérable; on a obtenu un rendement supérieur à 99,9 p. 100 pour toutes les conditions de fonctionnement étudiées, sauf qu'à température élevée (supérieure à 200 °C), le rendement était de 99,4 p. 100, ce qui est encore très élevé. D'après les résultats inédits d'un procédé pilote Flakt (épurateur sec et filtre en tissu) à Studsvik (Suède), un rendement de l'élimination des dioxines de 98 à 99 p. 100 a été obtenu dernièrement à des températures comprises entre 124 °C et 160 °C [14]. Un taux d'élimination élevé des DDPC (plus de 99 p. 100 à 120 °C) a été signalé dans le cas d'un *incinérateur-pilote* équipé d'un épurateur sec et d'un filtre en tissu [6], mais à 160 °C, le rendement était plus faible (84 p. 100).
- La concentration de DDPC à l'entrée s'établissait en moyenne à 1100 ng/m^{3}N pour une teneur en oxygène de 8 p. 100, ce qui semble être caractéristique des anciens incinérateurs de déchets non conditionnés [3].

- Les concentrations de DDPC à la sortie étaient très faibles (toutes inférieures à 6 ng/m^{3}N), et elles étaient "non décelables" dans la plupart des essais.
- Au point milieu, les concentrations de DDPC étaient de 25 p. 100 à 60 p. 100 moindres qu'à l'entrée dans le cas de quatre des conditions de fonctionnement. Toutefois, à peu près aucun changement n'a été relevé dans le cas de deux conditions de fonctionnement, soit celle à température supérieure à 200 °C et celle avec système d'épuration par voie humide-sèche et recyclage.

Les dioxines représentent une famille de 75 composés groupés en homologues, comme on l'explique en annexe. Chaque homologue possédant un équivalent de toxicité différent, la distribution des homologues de dioxines à chacun des trois points d'échantillonnage est indiquée à la figure 17 pour les six conditions de fonctionnement étudiées.

Les principaux points suivants doivent être soulignés relativement aux homologues de DDPC:

- La distribution des homologues de DDPC est semblable pour toutes les conditions de fonctionnement.
- À l'entrée et au point milieu, la distribution des homologues de dioxines est en forme de cloche et déplacée vers les composés à masse moléculaire élevée, surtout les hexa, hepta et octa.
- Dans tous les essais, c'est l'homologue le plus toxique (c'est-à-dire, le tétra) qui avait la concentration la plus faible.
- À la sortie, aucune concentration d'homologue de DDPC n'a pu être décelée dans le cas des trois conditions de fonctionnement. Pour les trois autres conditions, les gaz contenaient des composés hexa, hepta et octa, mais pas de penta. On a mesuré une quantité de composés tétra, plus une certaine quantité de composés hexa et hepta, dans le cas du système par voie humide-sèche avec recyclage.

7.2 Furannes dans les gaz de combustion

Les concentrations de furannes (DFPC) dans les gaz de combustion mesurées à trois points d'échantillonnage sont indiquées au tableau 11 et à la figure 18.

Les résultats des essais font ressortir avant tout les points suivants:

- L'élimination globale des DFPC est supérieure à 99,3 p. 100 pour toutes les conditions de fonctionnement, résultat considéré comme très significatif.

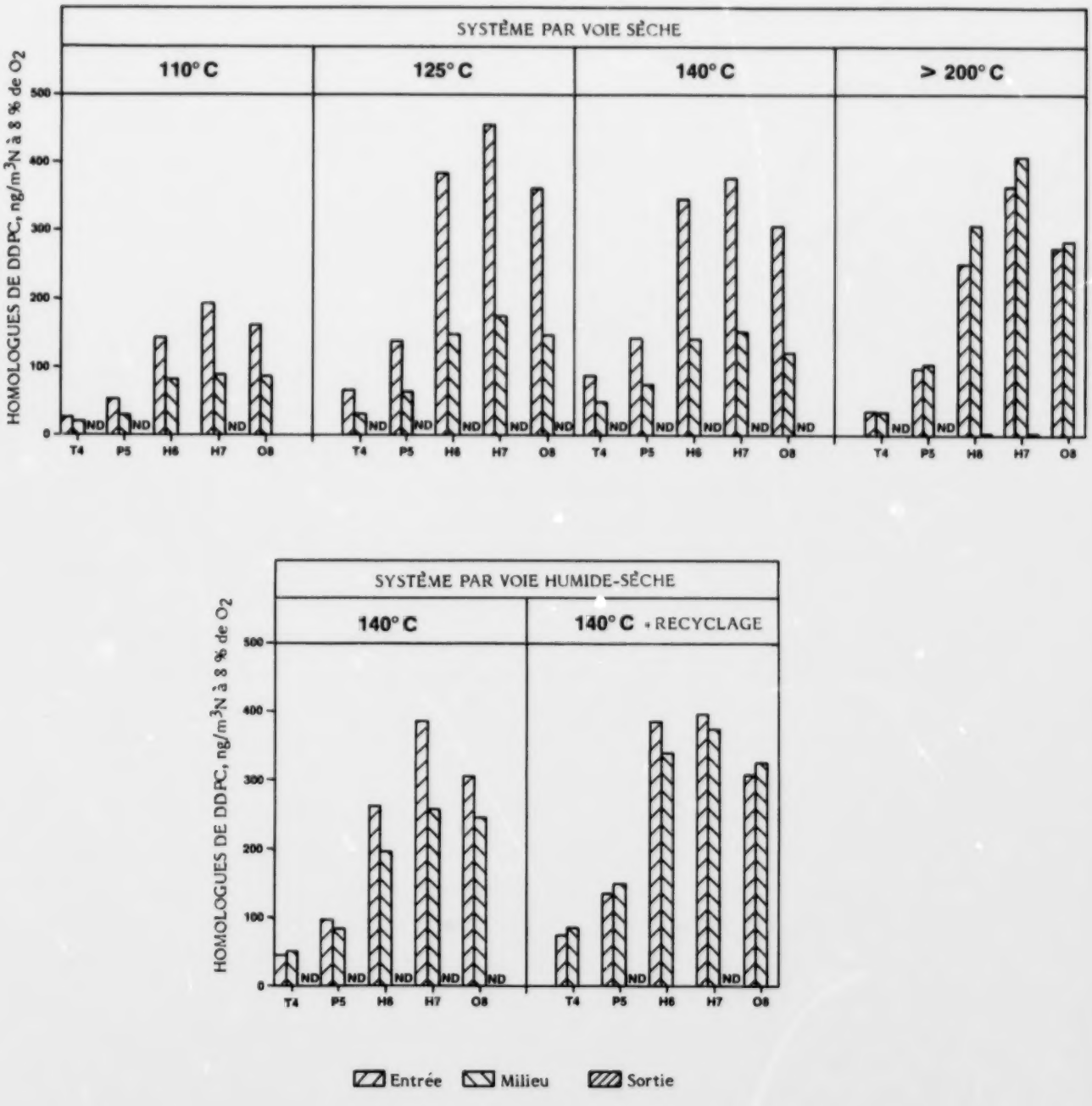


FIGURE 17 DISTRIBUTION DES HOMOLOGUES DE DDPC DANS LES GAZ DE COMBUSTION

TABLEAU 11 CONCENTRATIONS DE DFPC (ng/m^{3}N à 8 p. 100 de O_2) DANS LES GAZ DE COMBUSTION ET RENDEMENT DE L'ÉPURATION

Conditions de fonctionnement	Système par voie sèche				Système par voie humide-sèche	
	110 °C	125 °C	140 °C*	>200 °C	140 °C	140 °C +recyclage
Entrée (ng/m^{3}N)	300	940	1000	560	660	850
Milieu (ng/m^{3}N)	270	440	630	490	690	1030
Sortie (ng/m^{3}N)	2,3	N.D.	1,0	1,2	N.D.	0,9
Rendement (%)						
- Entrée et milieu	11	54	37	13	-4	-21
- Global	99,3	>99,9	99,9	99,8	>99,9	99,9

* D'après les résultats d'un seul test.
N.D. : non décelé.

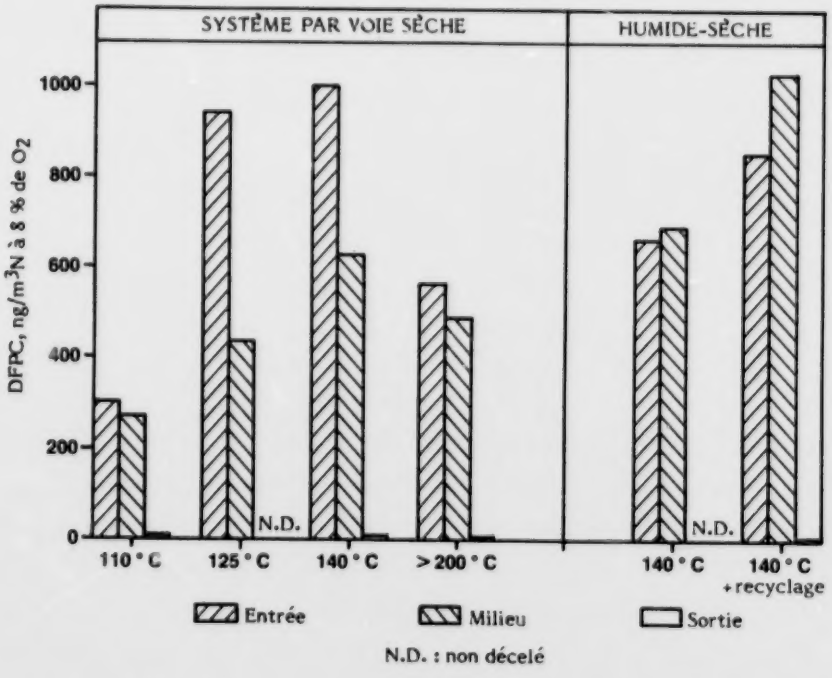


FIGURE 18 CONCENTRATIONS DE DFPC DANS LES GAZ DE COMBUSTION

Ces résultats sont conformes aux données sur l'élimination des DFPC indiquées dans la référence 6, sauf qu'à température élevée, la baisse de rendement n'a pas été aussi importante que celle mentionnée à la référence 6.

- Les concentrations de DFPC à l'entrée s'établissaient en moyenne à environ 700 ng/m^{3}N pour une teneur en oxygène de 8 p. 100, ce qui correspond à une différence d'environ 33 p. 100 par rapport à la concentration de DDPC à l'entrée qui est de 1100 ng/m^{3}N pour une teneur en oxygène de 8 p. 100.
- À la sortie, les concentrations de DFPC ont chuté à moins de 3 ng/m^{3}N pour toutes les conditions de fonctionnement.
- Au milieu, les concentrations de DFPC étaient de 10 p. 100 à 50 p. 100 inférieures à la concentration à l'entrée dans le cas du système par voie sèche. Toutefois, on a relevé une légère augmentation dans le cas du système par voie humide-sèche.

Comme dans le cas des dioxines, les furannes constituent une famille de 135 composés groupés en homologues, chacun possédant une toxicité différente. La distribution des homologues des furannes aux trois points d'échantillonnage est illustrée à la figure 19, pour chacune des conditions étudiées.

Voici les principales observations relatives aux homologues de DFPC:

- La distribution des homologues de DFPC à l'entrée et au milieu est très semblable. Les concentrations les plus élevées ont été mesurées dans les composés de masse moléculaire plus faible, la concentration décroissant avec l'augmentation de la masse moléculaire.
- À la sortie, on a relevé seulement des composés hepta pour deux conditions d'essai, des concentrations "non décelables" pour tous les homologues pour deux conditions, et des quantités décelables de composés tétra, penta, hexa et hepta pour deux conditions.

7.3 Dioxines dans les cendres des trémies

Lorsque les gaz émis par l'incinérateur traversent le système d'épuration, une certaine quantité de cendres volantes retombent dans les épurateurs, et le reste (plus la chaux) est retenu par le filtre en tissu. La quantité approximative de cendres recueillies par chacun des récipients est indiquée à la Section 6.

La concentration (ng/g) de DDPC dans les cendres des trémies de chacun des trois récipients est indiquée au tableau 12. Ces données sont également présentées sous

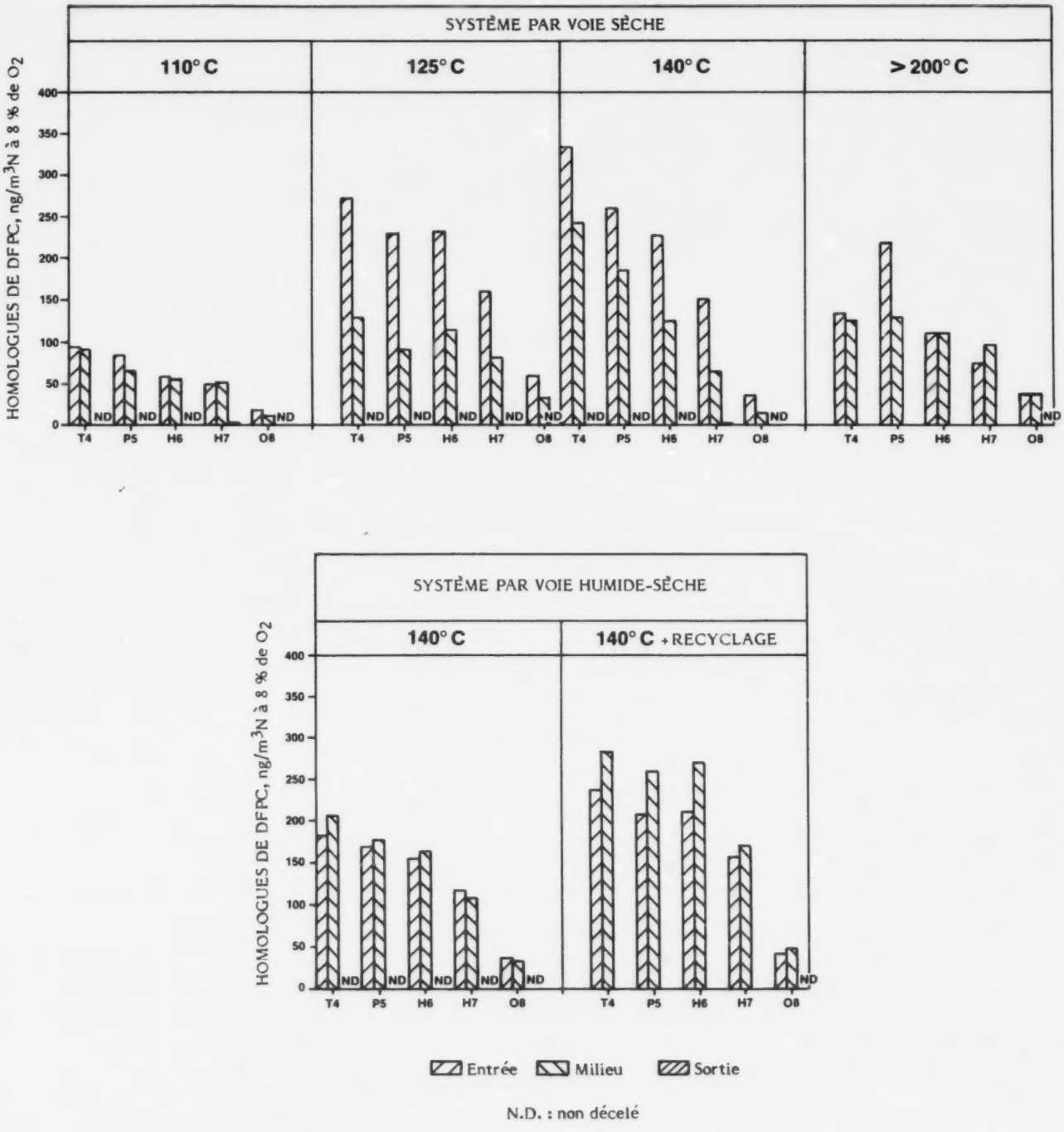


FIGURE 19 DISTRIBUTION DES HOMOLOGUES DE DFPC DANS LES GAZ DE COMBUSTION

TABLEAU 12 CONCENTRATIONS DE DDPC (ng/g) DANS LES CENDRES

Conditions de fonctionnement	Système par voie sèche				Système par voie humide-sèche	
	110 °C	125 °C	140 °C	>200 °C	140 °C	140 °C +recyclage
Cendres de l'épurateur humide-sec	13	14	6	6	6	12
Cendres de l'épurateur sec	160	64	94	31	S.O.	S.O.
Cendres du filtre en tissu	280	570	570	740	160	230

S.O. : sans objet.

forme d'histogrammes à colonnes à la figure 20, afin de mieux visualiser la concentration relative dans chaque type de cendres.

Voici les principales observations sur la concentration de DDPC dans les cendres des trémies:

- La concentration la plus élevée de DDPC a été mesurée dans le filtre en tissu pour toutes les conditions de fonctionnement (200 ng/g à 700 ng/g).
- Dans le système d'épuration par voie sèche, lorsque le gaz traverse l'épurateur, la concentration de DDPC augmente progressivement.
- À basse température (110 °C), on note un déplacement de la distribution des concentrations de DDPC vers l'épurateur sec (160 ng/g).

Lorsque l'on combine les estimations de la proportion de cendres recueillies dans chacun des récipients aux concentrations de DDPC dans les cendres, une moyenne pondérée des concentrations de DDPC dans les cendres montre que:

- Dans le système d'épuration par voie sèche, environ 80 p. 100 des DDPC totales dans les cendres se trouvaient dans le filtre en tissu, et 17 p. 100, dans les cendres de l'épurateur sec. Par contre, 30 p. 100 des cendres totales recueillies par l'usine-pilote se trouvaient dans le filtre en tissu, et 40 p. 100, dans les cendres de l'épurateur sec, le reste se trouvant dans les

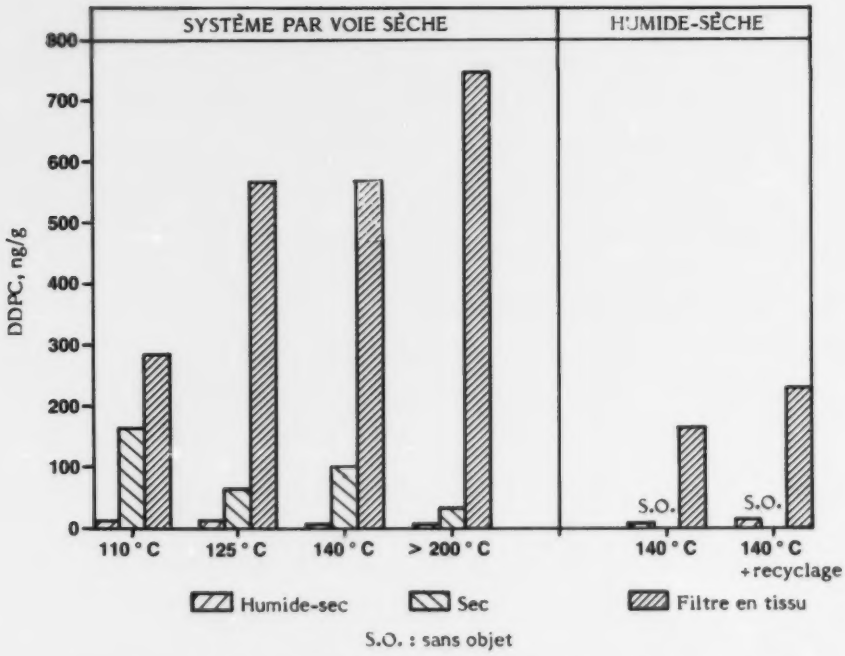


FIGURE 20 CONCENTRATIONS DE DDPC DANS LES CENDRES DES TRÉMIES

cendres du refroidisseur de gaz. La plus grande partie des DDPC dans les cendres se retrouvent donc dans les cendres du filtre en tissu, ce qui représente seulement 30 p. 100 de toutes les cendres.

- Dans le système d'épuration par voie humide-sèche, environ 98 p. 100 des DDPC totales dans les cendres se trouvaient dans celles du filtre en tissu (ce qui représente 67 p. 100 des cendres totales recueillies par l'usine-pilote), le reste se trouvant dans les cendres de l'épurateur humide-sec.

La distribution des homologues de DDPC dans les cendres des trémies est illustrée à la figure 21. On a formulé les principales observations suivantes:

- Pour chaque condition d'exploitation, la distribution des homologues de DDPC dans les cendres du filtre en tissu est fortement déplacée vers les composés à masse moléculaire plus élevée, en particulier les composés hexa, hepta et octa.
- La distribution des homologues de DDPC dans les cendres du filtre en tissu ressemble de très près à leur distribution dans les gaz de combustion au point d'entrée.

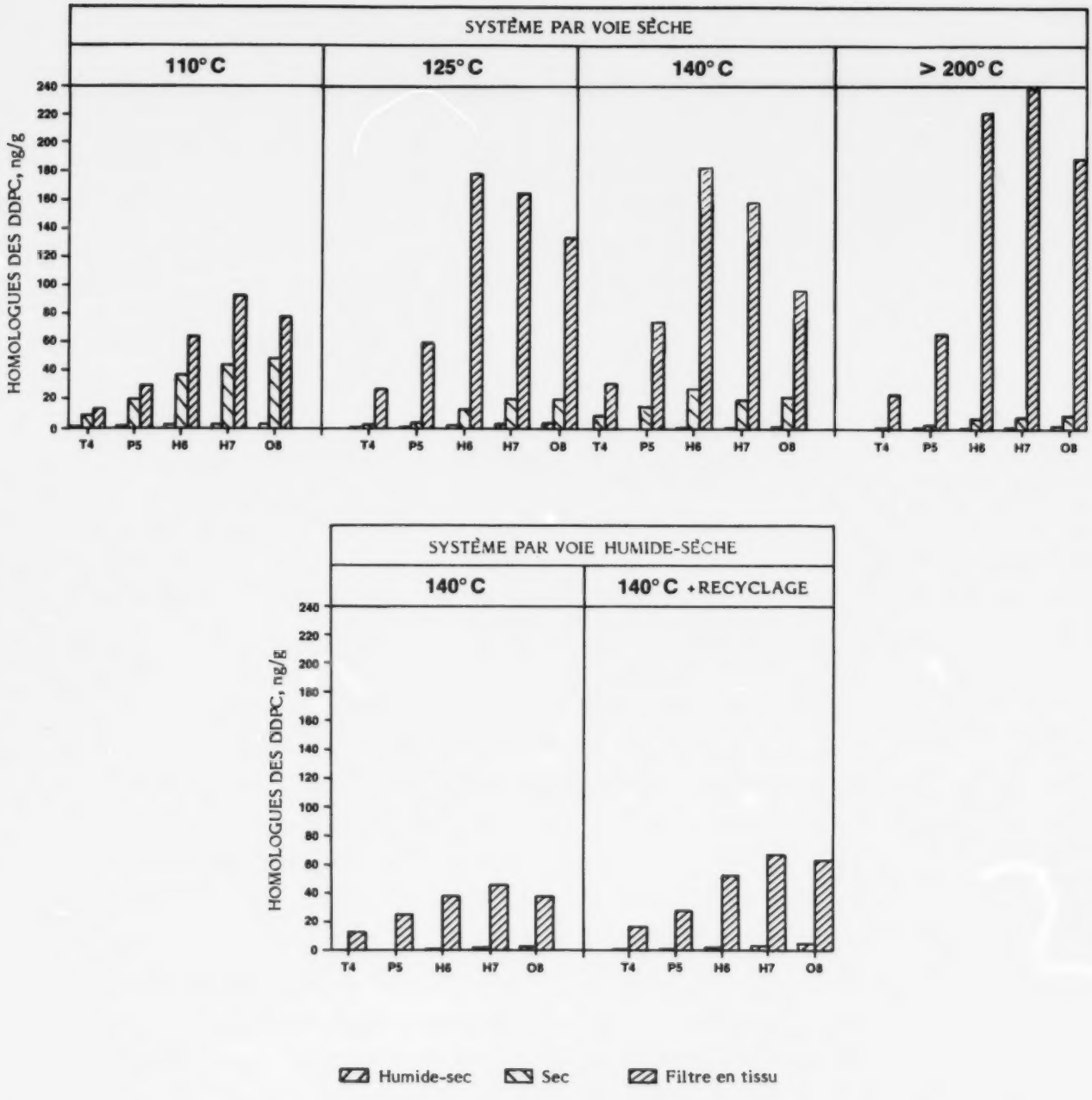


FIGURE 21 DISTRIBUTION DES HOMOLOGUES DES DDPC DANS LES CENDRES

- Le profil de distribution des homologues de DDPC dans les cendres du réacteur sec est déplacé de la même façon vers les composés à masse moléculaire plus élevée, mais l'asymétrie est moins marquée.
- Dans le cas du réacteur humide-sec, on observe une légère asymétrie vers les composés octa.

7.4 Furannes dans les cendres des trémies

Les concentrations de DFPC (ng/g) dans les cendres des trémies recueillies dans les trois récipients sont indiquées au tableau 13.

Les concentrations de DFPC dans les échantillons de poussières sont indiquées par ailleurs à la figure 22.

La distribution des DFPC dans les trois types de cendres est la même que celle des DDPC:

- La concentration la plus forte se trouve dans le filtre en tissu pour toutes les conditions de fonctionnement.
- À la température la plus basse (110 °C), on observe un déplacement vers des concentrations de DFPC plus élevées dans les cendres du réacteur sec et vers des concentrations plus faibles dans les cendres du filtre en tissu par rapport aux autres conditions de fonctionnement.

TABLEAU 13 CONCENTRATIONS DE DFPC (ng/g) DANS LES CENDRES

Conditions de fonctionnement	Système par voie sèche				Système par voie humide-sèche	
	110 °C	125 °C	140 °C	>200 °C	140 °C	140 °C + recyclage
Cendres de l'épurateur humide-sec	10	12	4	5	5	8
Cendres de l'épurateur sec	87	36	68	22	S.O.	S.O.
Cendres du filtre en tissu	160	320	380	320	130	170

S.O. : sans objet.

La moyenne pondérée des DFPC établie d'après la concentration et la proportion relative du poids total de chaque type de cendres met en évidence les points suivants:

- Dans le système par voie sèche, environ 75 p. 100 des DFPC totaux dans les cendres proviennent des cendres du filtre en tissu, et 22 p. 100, des cendres de l'épurateur sec. Par contre, 30 p. 100 des cendres totales recueillies par l'usine-pilote sont les cendres du filtre en tissu, et 40 p. 100, celles de l'épurateur sec, le reste provenant des cendres du refroidisseur de gaz. Comme dans le cas des dioxines, la plupart des furannes présents dans les cendres se trouvent donc dans les cendres du filtre en tissu, ce qui représente seulement 30 p. 100 des cendres totales.
- Dans le système par voie humide-sèche, environ 98 p. 100 de tous les DFPC dans les cendres étaient dans les cendres du filtre en tissu, ce qui représente 67 p. 100 des cendres totales recueillies par l'usine-pilote, le reste étant dans les cendres de l'épurateur humide-sec.

La distribution des homologues de DFPC dans les cendres (figure 23) est déplacée vers les composés de masse moléculaire faible, pour toutes les conditions d'essai, et elle est semblable à celle des homologues de DFPC dans les gaz de combustion au point d'entrée.

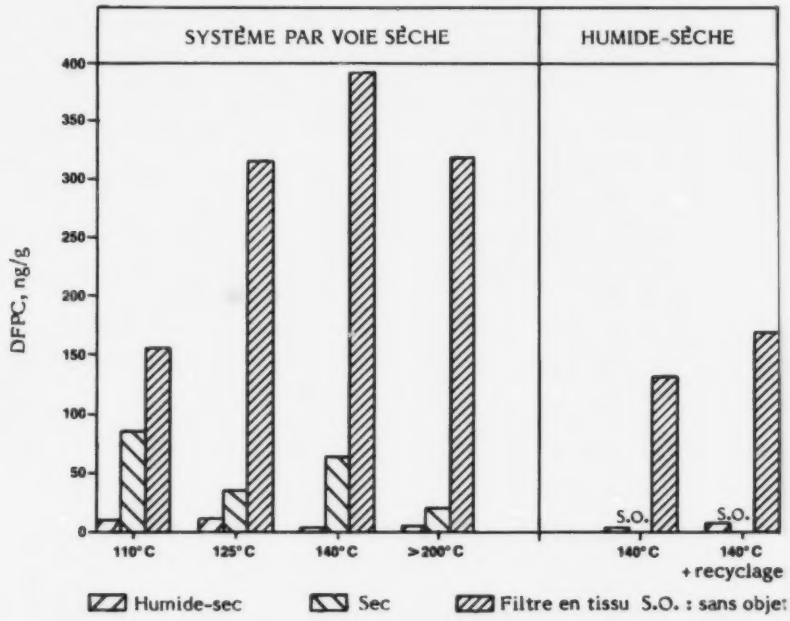
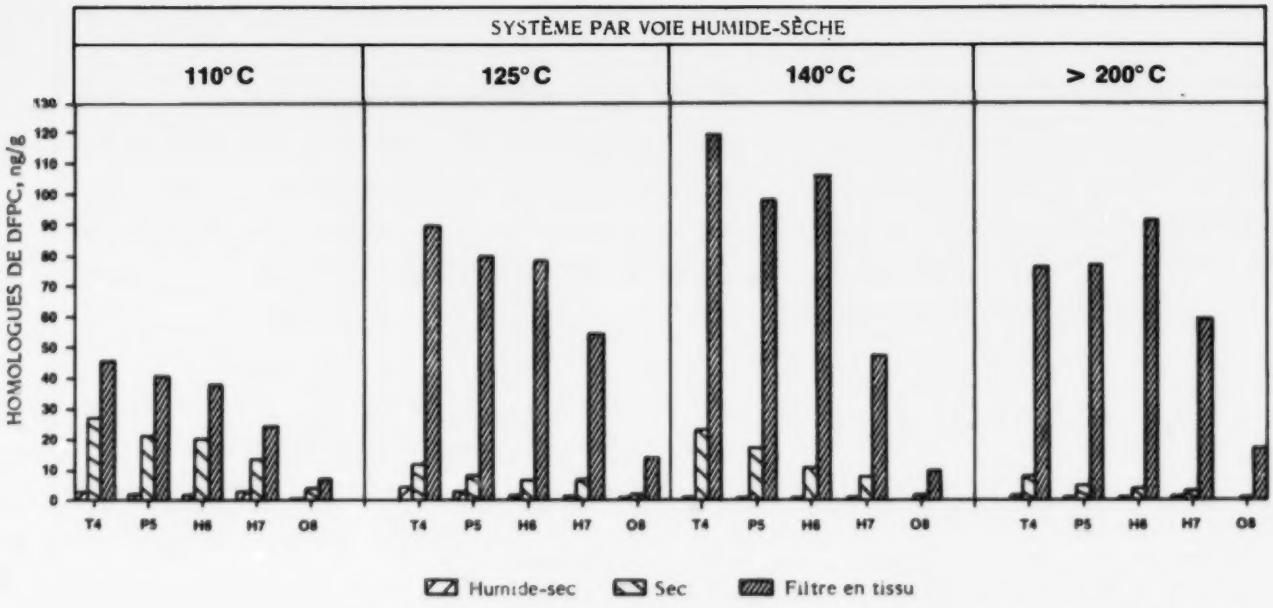


FIGURE 22 CONCENTRATIONS DE DFPC DANS LES CENDRES DES TRÉMIES



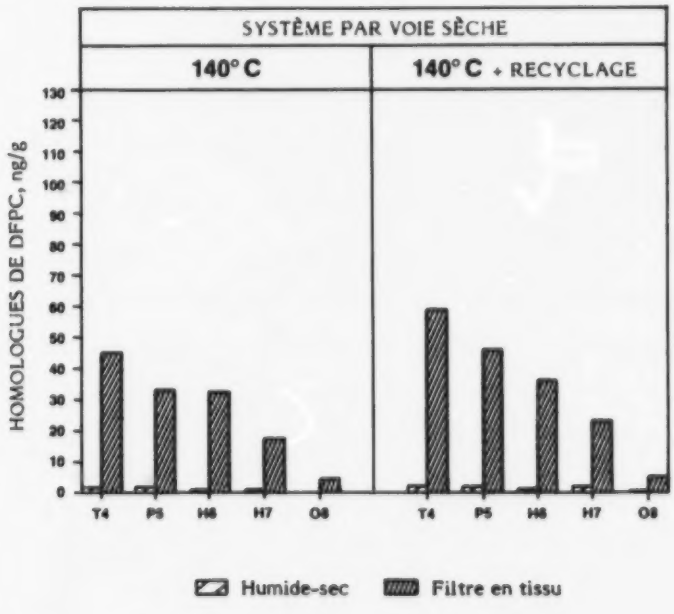


FIGURE 23 DISTRIBUTION DES HOMOLOGUES DE DFPC DANS LES CENDRES DES TRÉMIES

8 AUTRES COMPOSÉS ORGANIQUES

En plus des dioxines et des furannes, d'autres composés organiques à l'état de traces sont émis dans les gaz de combustion par les usines d'incinération à valorisation énergétique. Il s'agit des chlorobenzènes (CB), des chlorophénols (CP), des biphényles polychlorés (BPC) et des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Les montages utilisés pour recueillir les dioxines et les furannes ont également recueilli ces autres composés organiques à l'état de traces à l'entrée, au milieu et à la sortie de l'usine-pilote. De plus, on a mesuré la teneur en autres composés organiques des cendres recueillies dans le récipient sous la trémie. Dans le but de faciliter l'analyse des données obtenues, les tableaux et les histogrammes à colonnes résument les points saillants relatifs aux autres composés organiques.

8.1 Autres composés dans les gaz de combustion

Le tableau 14 indique le rendement total de l'élimination des chlorobenzènes (CB), des chlorophénols (CP), des biphényles polychlorés (BPC) et des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) pour les six conditions de fonctionnement étudiées:

TABLEAU 14 TAUX D'ÉLIMINATION DES AUTRES COMPOSÉS ORGANIQUES

Composés organiques	Système par voie sèche				Système par voie humide-sèche	
	110 °C	125 °C	140 °C*	>200 °C	140 °C	140 °C + recyclage
CB	95	98	98	62	>99	99
BPC	72	>99	>99	54	>99	>99
HAP	84	82	94	98	>99	79
CP	97	99	99	56	99	96

* D'après les résultats d'un seul essai.

On a formulé les principales observations suivantes sur le rendement de l'élimination des autres composés organiques:

- À 110 °C, 125 °C et 140 °C, l'élimination globale "des autres composés organiques" par l'usine-pilote était considérable.

- À haute température (supérieure à 200 °C, sans refroidissement des gaz), le rendement de l'élimination des CB, BPC et des CP est le plus faible. Le contraire a été relevé dans le cas de l'élimination des HAP: la température la plus élevée a donné le taux d'élimination le plus élevé (98 p. 100) par voie sèche.
- Le taux d'élimination le plus élevé des six conditions de fonctionnement (supérieur à 99 p. 100) a été obtenu par voie humide-sèche à 140 °C.

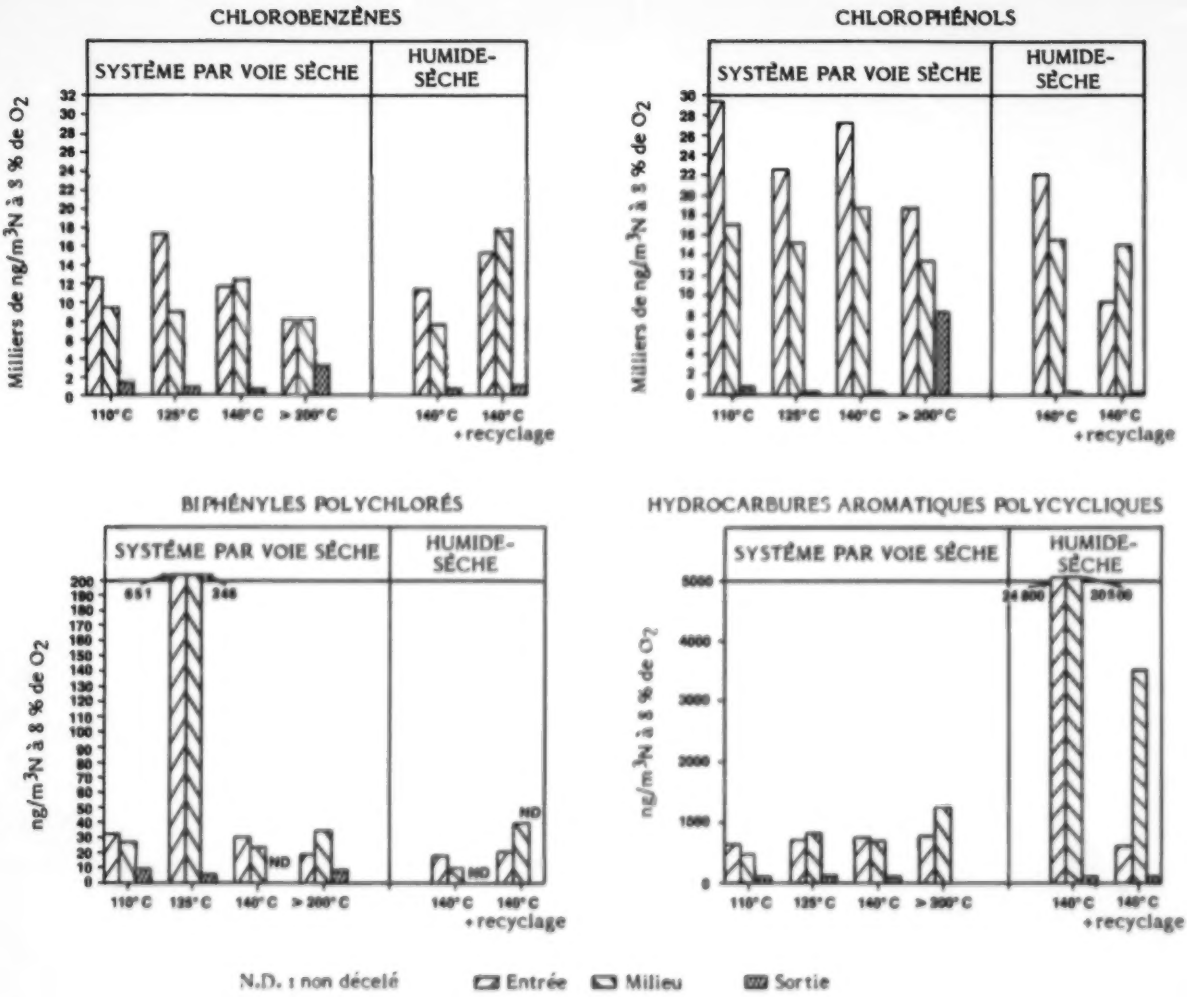
Ces points sont illustrés à la figure 24, et les données sur les concentrations (ng/m^3N à 8 p. 100 de O_2) sont présentées sous forme d'histogrammes à colonnes:

- D'après ces histogrammes, la plus grande partie des composés organiques a été retenue par le filtre en tissu.
- À température élevée (140 °C et à plus de 200 °C), l'épurateur éliminait peu ou pas de CB.
- Le recyclage des cendres a entraîné une augmentation des concentrations de CB, de CP, de BPC et de HAP depuis l'entrée jusqu'au point milieu (c'est-à-dire dans l'épurateur) comparativement au procédé sans recyclage. Toutefois, les émissions à la sortie atteignaient encore le même taux relativement faible.

Les notes au bas de la figure 24 montrent que l'usine-pilote peut réduire les émissions au même taux, même lorsque les concentrations au point d'entrée sont beaucoup plus élevées que la moyenne.

8.2 Autres composés dans les cendres des trémies

Les concentrations relatives de CB, de BPC, de HAP et de CP dans les différentes cendres sont indiquées à la figure 25. La distribution des composés organiques dans les diverses cendres suit celle des DDPC et des DFPC: les concentrations les plus élevées ont été mesurées dans le filtre en tissu, et la concentration dans les cendres augmentait à mesure que les gaz traversaient l'usine-pilote.



Remarque 1. - À 125 °C, la concentration de BPC durant l'essai de performance 3 (EP-3) était très élevée à l'entrée (1300 ng/m^{3}N à 8 % de O_2) par rapport à tous les autres essais. Néanmoins, la concentration de BPC dans la cheminée (8 ng/m^{3}N) était aussi faible que pour toutes les autres conditions de fonctionnement (non mesurable à 12 ng/m^{3}N à 8 p. 100 de O_2).

Remarque 2. - À 140 °C, avec le système d'épuration par voie humide-sèche (sans recyclage), la concentration de HAP durant le EP-8 était très forte à l'entrée (49 000 ng/m^{3}N) par rapport à tous les autres essais. Toutefois, au niveau de la cheminée, la concentration de HAP chutait à 78 ng/m^{3}N au point EP-8, ce qui est semblable aux résultats des autres essais.

FIGURE 24 CONCENTRATIONS DE CB, CP, BPC ET HAP DANS LES GAZ DE COMBUSTION

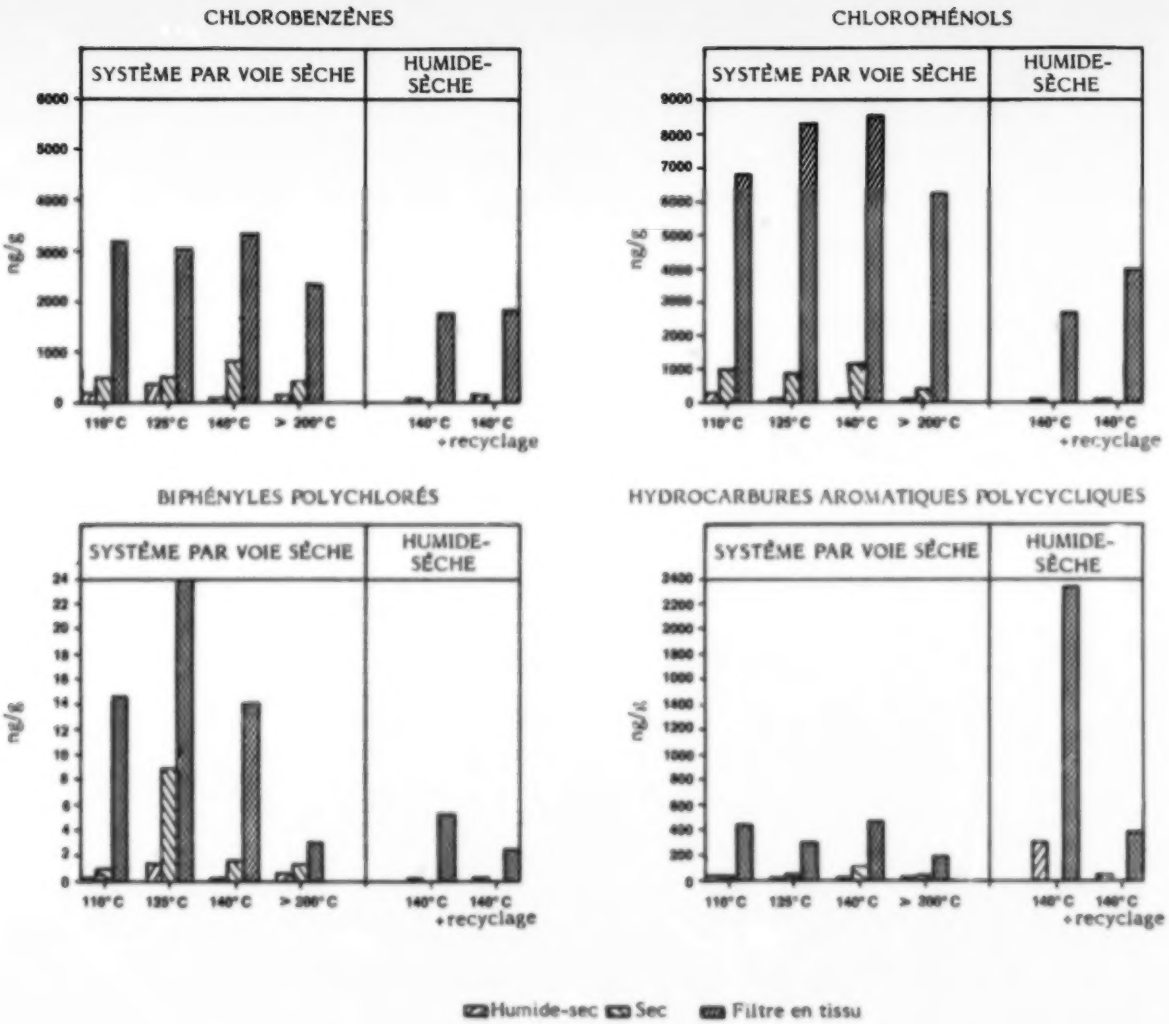


FIGURE 25 CONCENTRATIONS DE CB, CP, BPC ET HAP DANS LES CENDRES DES TRÉMIES

9 MÉTAUX

9.1 Métaux dans les gaz de combustion

L'analyse des métaux a été effectuée sur des particules recueillies à la sortie du filtre en tissu (cheminée). Au total, 27 métaux ont été analysés, et les données pour les 8 plus importants, d'après les études PEENI antérieures, sont indiquées au tableau 15. De plus, des montages particuliers ont été utilisés pour prélever des échantillons de mercure à l'entrée et à la sortie. Ces données figurent également au tableau 15.

TABLEAU 15 CONCENTRATIONS DES MÉTAUX À L'ENTRÉE ET À LA SORTIE (mg/m^3N à 8 p. 100 de O_2)

		Système par voie sèche				Système par voie humide-sèche	
Métal	Endroit	110 °C*	125 °C*	140 °C	>200 °C	140 °C	140 °C + recyclage
Zinc (Zn)	Entrée	99 000	108 000	93 000	91 000	77 000	88 000
	Sortie	7	5	6	10	5	6
Cadmium (Cd)	Entrée	1 300	1 300	1 500	1 000	1 200	1 100
	Sortie	0,4	0,4	N.D.	0,6	N.D.	N.D.
Plomb (Pb)	Entrée	41 000	44 000	34 000	35 000	36 000	34 000
	Sortie	4	3	5	6	1	6
Chrome (Cr)	Entrée	3 100	1 900	2 000	1 900	1 400	1 700
	Sortie	0,4	0,4	1	0,5	0,2	0,7
Nickel (Ni)	Entrée	1 000	1 800	1 300	800	700	2 500
	Sortie	1,3	0,4	0,7	2	1,3	2
Arsenic (As)	Entrée	150	100	130	80	110	130
	Sortie	0,02	0,04		0,07	0,04	0,03
Antimoine (Sb)	Entrée	2 000	800	1 000	1 500	1 000	2 200
	Sortie	0,2	0,4	0,6	0,5	0,3	0,6
Mercure (Hg)	Entrée	440	480	320	450	190	360
	Sortie	40	13	20	610	10	19

Remarque. - Les valeurs des concentrations ont été arrondies.
* D'après un seul essai, sauf dans le cas du mercure où on en a utilisé deux.
N.D. : non décelé.

Principales observations tirées du tableau 15:

- Le rendement de la collecte pour tous les métaux, à l'exception du mercure, était supérieur à 99,9 p. 100. Ces résultats corroborent les rendements (plus de 99 p. 100) signalés par d'autres usines (épurateur sec et filtre en tissu), comme celle de Sysav (Suède) [7] et de Tsushima (Japon) [8]. Les résultats des essais pour l'installation de Munich-Nord (épurateur sec et ESP) ont montré que l'élimination de cadmium, de plomb et de zinc était supérieure à 98 p. 100, ce qui est relativement élevé, mais inférieure au résultat obtenu par le système Flakt avec filtre en tissu [9]. On a signalé que le taux d'élimination des métaux était beaucoup plus faible dans le cas d'incinérateurs équipés d'électrofiltres seulement (sans épurateur) que dans le cas de systèmes dotés d'épurateurs et(ou) de filtres en tissu [15].
- Le taux d'élimination du mercure s'établissait entre 91 p. 100 et 97 p. 100 pour toutes les conditions de fonctionnement, à l'exception du fonctionnement à température élevée (supérieure à 200 °C), pour lequel aucune proportion du mercure n'a été éliminée. Ces résultats montrent qu'un refroidissement est nécessaire à l'élimination efficace du mercure. Les résultats provenant de l'usine de Sysav (épurateur sec et filtre en tissu) indiquent également de faibles émissions de mercure, soit de 12 à 65 $\mu g/m^3N$ à 160 °C [7], tandis que les résultats obtenus à Kempten, en Allemagne (épurateur sec et ESP) ont révélé des émissions élevées de mercure de l'ordre de 200 à 600 $\mu g/m^3N$ à 220 °C [9]. L'avantage du refroidissement des gaz afin d'obtenir une meilleure élimination du mercure a également été documenté par Moller et Christiansen [11] ainsi que par Clarke [15].

9.2 Métaux dans les cendres des trémies

On a également dosé les métaux dans les résidus recueillis dans les récipients placés sous les trémies. La concentration de huit métaux, considérée comme significative en vertu des études antérieures du PEENI, est illustrée dans les histogrammes à colonnes à la figure 26. Voici les principales observations:

- Six métaux (Zn, Pb, Cd, As, Sb, Hg) suivent la courbe observée pour les composés organiques dans les cendres. Ce sont les cendres retenues par le filtre en tissu qui, de loin, contiennent la concentration la plus élevée et la

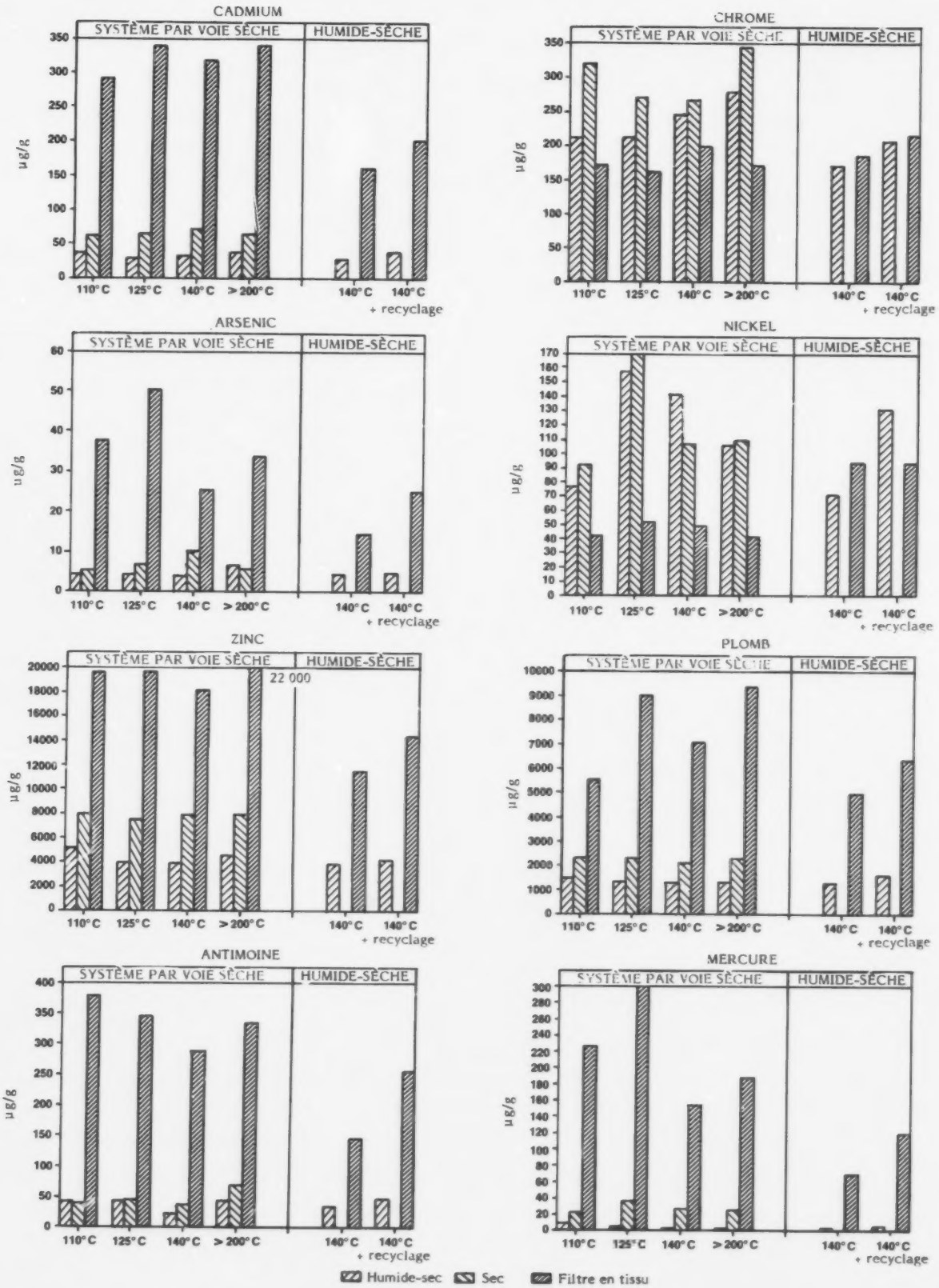


FIGURE 26 MÉTAUX DANS LES CENDRES DES TRÉMIES

plus grande quantité de métaux totaux éliminés par voie sèche ou par voie humide-sèche.

- Le chrome et le nickel présentent leur concentration maximale dans les épurateurs du système par voie sèche. Les concentrations de chrome et de nickel étaient semblables dans les cendres de l'épurateur et les cendres du filtre en tissu dans le cas du procédé par voie humide-sèche.

La chaux hydratée, introduite dans les épurateurs sec et humide-sec pour réagir avec le gaz acide, contient aussi des traces de métaux. Afin de relier l'apport des métaux présents dans la chaux à la concentration des métaux dans les différentes cendres des trémies, une comparaison est présentée au tableau 16 pour les différents métaux.

TABLEAU 16 CONCENTRATIONS DES MÉTAUX DANS LA CHAUX ET DANS LES CENDRES DES TRÉMIES (µg/g)

		Système par voie sèche	Système par voie humide-sèche	
Métal	Chaux	Filtre en tissu	Épurateur humide-sec	Filtre en tissu
Zinc	40	17 000	4 100	13 000
Cadmium	10	320	35	180
Plomb	250	7 800	1 500	6 000
Chrome	40	170	190	200
Nickel	30	47	100	95
Antimoine	N.D.	330	40	200
Arsenic	4	42	5	20
Mercure	N.D.	220	4	95

Dans le cas du système d'épuration par voie sèche, Flakt a déterminé, d'après les critères de conception, que toute la chaux injectée est acheminée au filtre en tissu. On peut donc formuler les observations suivantes à partir des données du tableau 16.

- La chaux injectée dans le système constitue environ 50 p. 100 des cendres recueillies par le filtre en tissu. Il est possible que de 15 à 30 p. 100 du nickel des cendres du filtre en tissu proviennent de la chaux.

- De même, de 5 à 10 p. 100 des concentrations de chrome et d'arsenic dans les cendres du filtre en tissu peuvent provenir des métaux présents dans la chaux.
- La chaux contenait d'autres métaux en quantité trop insuffisante pour qu'on en tienne compte dans les cendres du filtre en tissu.

Dans le système d'épuration par voie humide-sèche, Flakt a établi, d'après des données de conception, qu'environ 25 p. 100 de la chaux injectée atteint l'épurateur humide-sec, et 75 p. 100, le filtre en tissu. D'après ces données, on a calculé que la chaux injectée dans le système représente 15 p. 100 des cendres de l'épurateur humide-sec et environ 20 p. 100 des cendres du filtre en tissu. Par conséquent, les métaux dans la chaux représentaient moins de 6 p. 100 de la teneur en métal des cendres, à l'exception de l'arsenic (épurateur humide-sec) pour lequel la contribution de la chaux représentait environ 12 p. 100.

Dans l'ensemble, la concentration des métaux dans la chaux ne représente pas un apport significatif aux concentrations présentes dans les cendres, dans un système ou l'autre.

10 ÉMISSIONS ACIDES

Les gaz acides, comme le HCl et le SO_2, sont des paramètres d'émission importants des usines d'incinération à valorisation énergétique. Pour bien étudier ces gaz, on a effectué des contrôles en continu du HCl et du SO_2 à l'entrée, au milieu et à la sortie de l'usine-pilote. De plus, des montages complémentaires d'échantillonnage manuel pour le HCl ont été ajoutés aux trois points d'échantillonnage, comme on l'a indiqué à la section 5. Les résultats de l'élimination du HCl et du SO_2 dans les gaz de combustion sont présentés ici.

10.1 Variations caractéristiques du HCl et du SO_2

Puisque la concentration de HCl et de SO_2 dans les gaz émis par les incinérateurs est fonction de la teneur en chlore et en soufre des ordures, et que la composition de ces dernières est variable, les concentrations des émissions peuvent varier énormément, même en l'espace de quelques minutes.

La figure 27 illustre les variations générales des concentrations de HCl et de SO_2 pendant une période d'essai. À l'entrée, le HCl variait par un facteur de 2, et le SO_2, par un facteur de 3, ce qui n'est pas rare dans le cas des incinérateurs municipaux. Il est important de noter, à la figure 27, que l'usine-pilote pouvait supporter ces variations importantes à l'entrée et fournir malgré tout une concentration relativement faible et constante à la sortie. Dans le cas du HCl, il existait une bonne corrélation entre les données du montage d'échantillonnage manuel et les données des appareils d'échantillonnage en continu correspondant.

10.2 Gaz acides et rendement de l'élimination

Les données relatives aux émissions et le taux d'élimination du HCl et du SO_2 sont résumés aux tableaux 17 et 18. Voici les principaux points relevés:

- La concentration moyenne de HCl, qui est de 400 ppm à l'entrée, peut être réduite à moins de 10 ppm à la sortie, pourvu que l'on refroidisse les gaz à une température inférieure à 125 °C dans l'épurateur.
- À basse température (110 °C et 125 °C), le taux d'élimination du HCl était d'environ 98 p. 100, ce qui est considérable. Des rendements aussi élevés ont été signalés dans le cas de l'usine de Sysav[7], de Munich-Nord [16] et celle de Tsushima au Japon [8].
- À température élevée, l'élimination du HCl était moins efficace: 77 p. 100 pour une température supérieure à 200 °C et de 91 à 94 p. 100 à 140 °C, ce

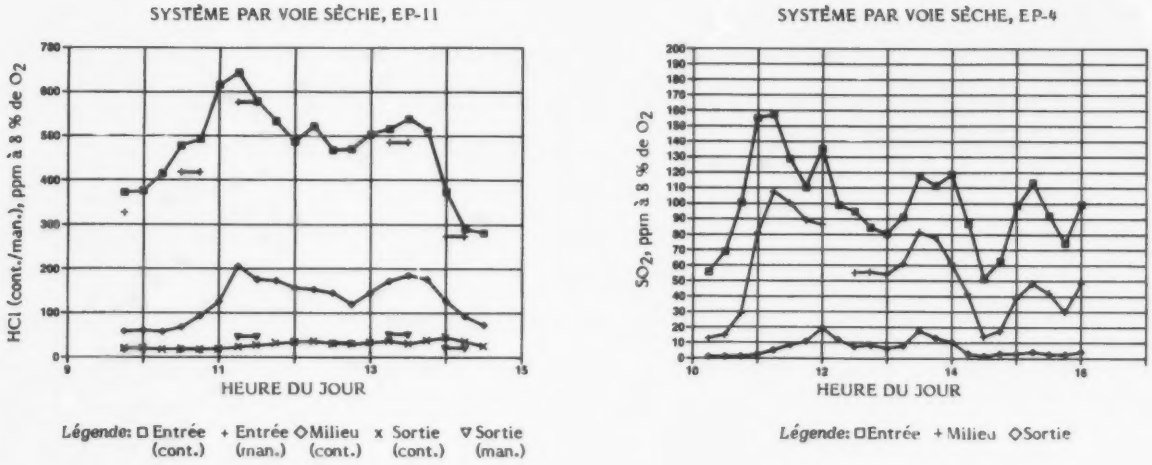


FIGURE 27 VARIATIONS GÉNÉRALES DU HCl ET DU SO_2 PENDANT LES ESSAIS DE PERFORMANCE

qui montre clairement un rapport inverse entre la température et le rendement de l'élimination.

- La performance des deux systèmes dans l'élimination du HCl à 140 °C est identique.
- Il semble que le recyclage des cendres n'ait aucun effet significatif sur l'élimination du HCl.
- La concentration moyenne de SO_2 est passée de 110 ppm - 120 ppm à l'entrée à moins de 10 ppm à la sortie.
- Il semble que la température ait une incidence significative sur l'élimination du SO_2. À température élevée (supérieure à 200 °C), le taux d'élimination du SO_2 n'était que de 30 p. 100, tandis qu'à basse température (110 °C et 125 °C), il était supérieur à 90 p. 100. Ces résultats sont comparables aux rendements de l'élimination du SO_2 indiqués par Hasselriss à d'autres installations [4].
- À 140 °C, on n'a relevé aucune différence sensible entre la performance des deux systèmes relativement à l'élimination du SO_2.
- Dans le cas du recyclage dans le système d'épuration par voie humide-sèche, il faut moins de chaux pour obtenir à peu près le même taux d'élimination du SO_2 qu'avec le procédé sans recyclage. Ce point est abordé de nouveau avec la présentation de la figure 30.

TABLEAU 17 CONCENTRATIONS DE HCl (à 8 p. 100 de O_2) ET RENDEMENT DE L'ÉLIMINATION

Température des gaz à l'entrée	Système par voie sèche				Système par voie humide-sèche	
	110 °C	125 °C	140 °C	>200 °C	140 °C	140 °C +recyclage
Rapport stoechiométrique	1,16	1,03	1,04	1,49	1,17	1,10
Entrée (ppm)	423[a]	464[b]	475[a, d]	392[b, d]	366[c]	470[a]
Milieu (ppm)	15[a]	69[a]	129[a, d]	196[a, d]	149[a]	152[a]
Sortie (ppm)	7[a]	9[b]	29[a, d]	91[b, d]	29[a]	42[a]
Rendement au milieu (%)	96	85	73	50	59	68
Rendement global (%)	98	98	94	77	92	91

[a] D'après un échantillonnage en continu des gaz.
[b] D'après un échantillonnage manuel (tests de 15 à 30 minutes).
[c] D'après des échantillonnages en continu et manuels combinés (essais de 15 à 30 minutes).
[d] D'après un seul essai.

TABLEAU 18 CONCENTRATIONS DE SO_2 (à 8 p. 100 de O_2) ET RENDEMENT DE L'ÉLIMINATION

Température des gaz à l'entrée	Système par voie sèche				Système par voie humide-sèche	
	110 °C	125 °C	140 °C*	>200 °C*	140 °C	140 °C +recyclage
Rapport stoechiométrique	1,16	1,03	1,04	1,49	1,19	1,10
Entrée (ppm)	119	118	99	117	106	106
Milieu (ppm)	24	65	64	103	67	70
Sortie (ppm)	4	10	41	83	35	43
Rendement au milieu (%)	80	45	35	11	37	35
Rendement global (%)	96	92	58	29	67	60

* D'après un seul essai.

10.3 Rapport stoechiométrique et taux de chaulage

Le taux de chaulage est un important facteur qui modifie les coûts d'exploitation des systèmes d'épuration des gaz. Le taux de chaulage est exprimé par le rapport stoechiométrique (R.S.), qui établit un lien entre la quantité de chaux hydratée, $Ca(OH)_2$, ajoutée dans l'épurateur, et la quantité totale de gaz acides (HCl et SO_2) dans les gaz de combustion à l'entrée. S'il y a suffisamment de chaux pour neutraliser tout le HCl et le SO_2, le rapport est alors de un (1). Un rapport supérieur à 1 correspond à un surplus de chaux. En termes chimiques, le rapport stoechiométrique est le rapport molaire entre le réactif libre et le HCl et le SO_2 à l'entrée.

$$R.S. = \frac{\text{moles de chaux libre}}{\text{1/2 mole de HCl + moles de } SO_2}$$

Pour les essais, la chaux disponible a été établie à 91 % de chaux vive.

Pour toute la série des essais de performance, on a choisi un R.S. cible de 1,2. Comme le montrent les tableaux 17 et 18, cette valeur était maintenue relativement proche pour la plupart des conditions d'essais. Toutefois, à cause de la concentration variable du HCl et du SO_2 à l'entrée, le R.S. réel différait de la valeur cible, surtout lorsque la température était supérieure à 200 °C.

Les quatre graphiques de la figure 28 montrent la pertinence du rapport stoechiométrique pour l'élimination du HCl et du SO_2 et illustrent plusieurs points importants:

- Dans tous les cas, pour la plage des concentrations étudiées, le R.S. influait très peu sur l'élimination du HCl; la température constituait un facteur beaucoup plus important.
- En conditions de non-refroidissement des gaz (> 200 °C), une augmentation du R.S. de 1,1 à 2,4 n'a eu aucun effet apparent sur l'élimination du HCl (77 p. 100).
- La température était le principal facteur d'élimination du SO_2 lorsque la température était inférieure à 125 °C; le R.S. influait peu ou pas sur l'élimination du SO_2 à 110 °C et à 125 °C.
- Le R.S. influait considérablement sur l'élimination du SO_2 à 140 °C et à plus de 200 °C.
- Même si à 140 °C le R.S. influait beaucoup sur l'élimination du SO_2, on peut en récupérer une bonne quantité (90 p. 100) si le R.S. est supérieur à 1,6. Cependant, ce mode de fonctionnement ne serait pas économique.

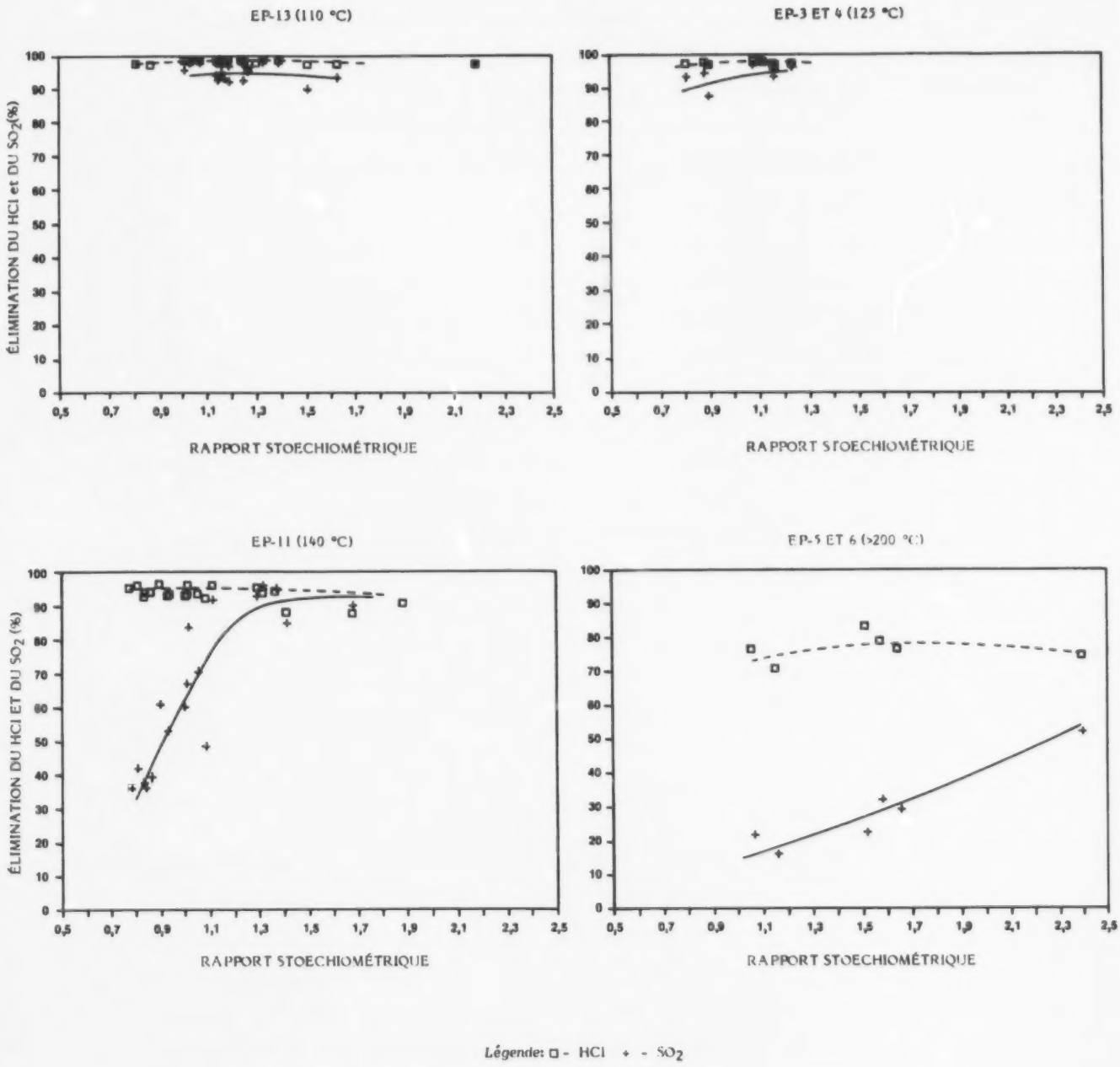


FIGURE 28 TAUX D'ÉLIMINATION DU HCl ET DU SO_2 EN FONCTION DU RAPPORT STOECHIOMÉTRIQUE À DIFFÉRENTES TEMPÉRATURES DU PROCÉDÉ D'ÉPURATION PAR VOIE SÈCHE

- À température élevée (>200 °C), le R.S. et la température influent grandement sur l'élimination du SO_2. Même avec un R.S. de 1,6, le rendement n'était que de 30 p. 100.

- Dans le cas du SO_2, le meilleur taux d'élimination (96 p. 100) a été obtenu à basse température (110 °C), à laquelle le R.S. n'est pas important.

L'importance du R.S. pour l'élimination du SO_2 est illustrée de nouveau à la figure 29. Ces courbes montrent qu'au-dessus de 125 °C, l'élimination du SO_2 chute rapidement. Un R.S. plus élevé ne fait que ralentir le taux de chute. Pour éliminer beaucoup de SO_2, le fonctionnement à une température inférieure à 125 °C semble être le plus économique.

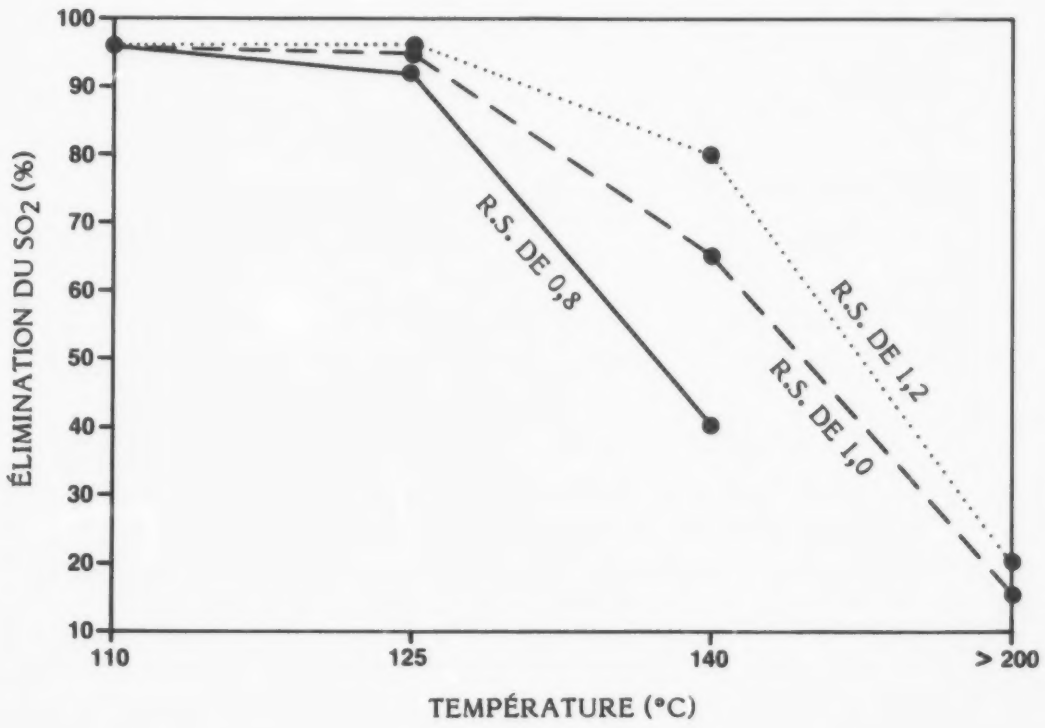


FIGURE 29 ÉLIMINATION DU SO_2 EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE POUR DIFFÉRENTS RAPPORTS STOECHIOMÉTRIQUES

10.4 Effet du recyclage des cendres

La figure 30 illustre l'avantage du recyclage des cendres pour l'élimination du SO_2 dans le système d'épuration par voie humide-sèche. Le premier graphique montre les résultats avec recyclage (EP-9 et EP-10) et le deuxième, sans recyclage (EP-8). Lorsqu'il y a recyclage, le R.S. moyen est de 1,10, et le taux d'élimination du SO_2 est de 60 p. 100.

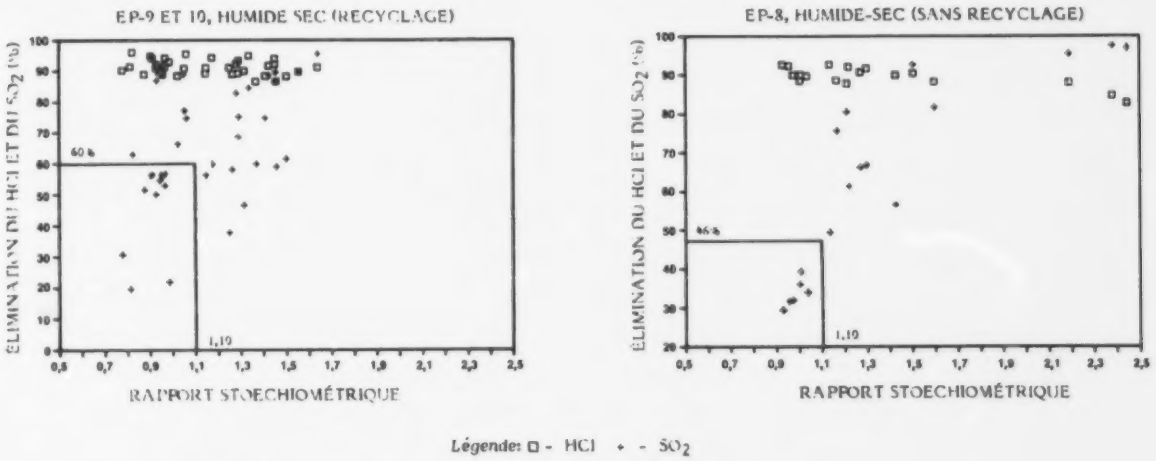


FIGURE 30 ÉLIMINATION DU HCl ET DU SO_2 EN FONCTION DU RAPPORT STOECHIOMÉTRIQUE, AVEC ET SANS RECYCLAGE

Par contre, lorsqu'il n'y a pas de recyclage et à un R.S. de 1,10, l'élimination est de 46 p. 100. Le recyclage des cendres peut donc accroître le rendement de l'élimination du SO_2. Le recyclage peut permettre le même rendement d'élimination du SO_2 que le fonctionnement sans recyclage, avec moins de chaux à l'état frais (c'est-à-dire, un R.S. plus bas), ce qui réduirait également les frais d'exploitation.

Le recyclage des cendres n'a aucun effet apparent sur la collecte du HCl.

11 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

11.1 Conclusions

Les conclusions suivantes sont tirées des nombreuses données résultant des essais à l'usine-pilote Flakt:

a) Le système par voie humide-sèche utilisant une bouillie de chaux et le système par voie sèche utilisant de la poudre de chaux avec filtre en tissu donnent un taux élevé d'élimination pour tous les polluants qui nous intéressent. De plus, il n'y a apparemment aucune différence sensible de performance entre un système et l'autre.

b) Le refroidissement des gaz de combustion en deçà de 200 °C était un paramètre clé, dans le cas des deux systèmes, pour une élimination efficace du HCl, du SO_2 et du mercure.

c) Le taux d'élimination des dioxines (DDPC) et des furannes (DFPC) était très élevé. Dans tous les essais, ce taux était supérieur à 99 p. 100 et, pour la plupart des essais, la concentration de dioxines et de furannes à la sortie de l'usine approchait la limite de détection des appareils d'échantillonnage et des méthodes d'analyse.

d) Les concentrations de DDPC et de DFPC les plus élevées ont été mesurées dans les cendres du collecteur du filtre en tissu, et les concentrations les plus faibles, dans les cendres de l'épurateur. Ces résultats étaient prévus d'après le rendement élevé de l'élimination des DDPC et des DFPC dans le collecteur du filtre en tissu.

e) D'autres composés organiques à l'état de traces, comme les chlorobenzènes, les biphényles polychlorés, les chlorophénols et les hydrocarbures aromatiques polycycliques, ont aussi été éliminés efficacement (80 p. 100 à 99 p. 100) par les deux systèmes, lorsque ceux-ci fonctionnaient avec refroidissement des gaz.

f) Les concentrations des autres composés organiques à l'état de traces dans les résdus des diverses trémies suivaient un profil de distribution similaire à celui des DDPC et des DFPC, dont les concentrations les plus élevées ont été mesurées dans les résidus du filtre en tissu.

g) Le taux d'élimination des métaux était en général supérieur à 99,9 p. 100 dans les deux systèmes, sauf pour le mercure. Comme on l'a indiqué en *b*, le refroidssement des gaz était un paramètre important pour un rendement élevé de l'élimination du mercure.

h) Pour la plupart des métaux visés (zinc, plomb, cadmium, arsenic, antimoine et mercure), les concentrations les plus élevées ont été trouvées dans les filtres en tissu;

par contre, pour le chrome et le nickel, les concentrations étaient égales ou supérieures dans les résidus de l'épurateur.

i) L'élimination des gaz acides peut se faire en augmentant la quantité relative de chaux par rapport aux gaz acides, ou en refroidissant les gaz de combustion. Toutefois, le refroidissement des gaz est plus économique que l'injection d'une plus grande quantité de chaux.

j) Le recyclage des cendres (c'est-à-dire, les cendres du filtre en tissu contenant une certaine quantité de chaux résiduelle qui n'a pas réagi) ajouté à la chaux neuve donnait le même taux d'élimination du SO_2 que le non-recyclage. En recyclant les cendres, on utilise moins de chaux neuve (c'est-à-dire, un rapport stoechiométrique plus faible), ce qui réduit les frais d'exploitation.

k) Deux variables indépendantes ont été testées: la température des gaz de combustion et le rapport stoechiométrique chaux-gaz acides; c'est la température qui influait le plus sur le rendement de l'élimination.

11.2 Recommandations

D'après l'expérience acquise et les résultats de cette série d'essais, on recommande les études suivantes pour des techniques semblables de dépollution de l'air de ce type:

a) Évaluer leur performance pour l'épuration du HCl (1000-1500 ppm) et du SO_2 (300-500 ppm) à des concentrations élevées.

b) Évaluer l'effet de la température entre 140 °C et 200 °C sur l'élimination du mercure.

c) Évaluer l'effet du chaulage sur l'élimination des composés organiques à l'état de traces en essayant les deux systèmes avec des taux de chaulage inférieurs à ceux analysés dans la présente étude, et sans addition de chaux.

d) Puisque la chaux représente une part importante des frais d'exploitation, il faut poursuivre l'évaluation des effets du recyclage des cendres du filtre en tissu du réacteur afin de réduire la consommation de chaux dans les deux modes de fonctionnement.

Voici quelques observations utiles à quiconque réalise des échantillonnages pour un système anti-pollution semblable:

a) Le système de conditionnement des gaz pour un échantillonnage en continu du HCl fonctionnant à un taux d'humidité élevé exige une attention spéciale; il faut empêcher l'interférence causée par la condensation.

b) L'échantillonnage en continu et les montages d'échantillonnage manuel destinés au HCl exigent une attention spéciale lorsqu'ils sont placés à l'entrée du filtre en tissu où des quantités importantes de chaux sont présentes. Puisque la poussière de chaux réagit avec le HCl dans le montage d'échantillonnage, il faut un système d'élimination spécial.

c) À la sortie du filtre en tissu, on a mesuré des concentrations très faibles de particules, ce qui exclut l'utilisation de la composante du filtre dans le montage d'échantillonnage ordinaire pour un essai normal de 4 heures. Il faut prolonger l'essai à au moins 24 heures pour obtenir un échantillon suffisant pour l'analyse des métaux.

d) Le taux de cendres déposées dans le collecteur du filtre en tissu est difficile à mesurer avec précision parce que la fréquence de pulsation du sac influe sur la quantité de cendres qui tombe dans la trémie. En utilisant un montage destiné exclusivement aux particules à l'entrée du filtre en tissu, on peut mesurer avec plus de précision le taux de dépôt.

e) À cause d'une fuite possible d'air à l'entrée, au niveau de chaque récipient, on recommande d'échantillonner le CO_2 et l'O_2 à tous les points de prélèvements (entrée, milieu et sortie) afin d'ajuster les données pour un taux commun de CO_2 ou de O_2.

f) L'entrée manuelle des enregistrements dans l'ordinateur, à des fins de synthèse, prend du temps. Pour économiser du temps et obtenir une présentation en "temps réel" des résultats des essais, toute sortie de l'enregistreur de données devrait être programmée en vue d'une entrée directe dans l'ordinateur.

g) Un programme de contrôle de la qualité par un autre groupe est un aspect très souhaitable d'un programme d'échantillonnage exhaustif.

RÉFÉRENCES

1. *Report of the Ministers' Expert Advisory Committee on Dioxins*, Joint Health and Welfare Canada/Environment Canada Publication, Ottawa, November 1983.

2. Environnement Canada. *Le programme national d'essais et d'évaluation des incinérateurs: Sommaire des essais à l'incinérateur à combustion en deux étapes de Parkdale, Île-du-Prince-Édouard.* Rapport SPE 3/UP/1, novembre 1985.

3. Martha Keating. *National Dioxin Study Tier 4 - Combustion Sources - Final Literature Review.* Rapport préliminaire du Radian Corporation pour l'U.S. Environmental Protection Agency, septembre 1985.

4. Hasselriis, Floyd. *Technical Guidance Relative to Municipal Waste Incineration.* Préparé pour la Task Force on Municipal Incineration, New York State Department of Environmental Conservation, 18 août 1985.

5. Teller, A.J. et J.D. Lauber. "Control of dioxin emissions from incineration", présenté au 76th Annual Meeting and Exhibition, Air Pollution Control Association, 19 au 24 juin 1983, Atlanta, GA.

6. Nielsen, K. Krag, *et al.* "Reduction of dioxins and furanes by spray dryer absorption from incinerator flue gas", présenté au Dioxin 85, Bayreuth FRG, 16 au 19 septembre 1985.

7. *Operational Studies at the Sysav Energy from Waste Plant, Malmo Sweden.* Rapport de la Swedish Waste Management Association et de la Swedish Environmental Protection Agency, juin 1983 (traduit en anglais par Flakt Canada Ltd.).

8. *Air Emissions and Performance Testing of a Dry Scrubber (Quench Reactor) Dry Venturi and Fabric Filter System Operating on Flue Gas from Combustion of Municipal Solid Waste at Tsushima, Japan.* Préparé par la Cooper Engineers pour la West County Agency of Contra Costa County, août 1984.

9. Carlsson, Kurt. *Heavy Metals from Energy from Waste Plants - Comparison of Gas Cleaning Systems*, Waste Management & Research (1986) 4,000 - 000.

10. Moller J.T. et O.B. Christiansen. "Dry scrubbing of municipal solid waste incinerator flue gas by spray dryer absorption", présenté au 77th Annual Air Pollution Control Association Meeting, juin 1984.

11. Moller, J.T. et O. Christiansen. "Dry scrubbing of MSW incinerator flue gas by spray dryer absorption: new developments in Europe", présenté au 78th Annual Air Pollution Control Association Meeting, juin 1985.

12. H.J. Regler. "Rezirkulation von calzium hydroxid bei einem trockenen rauchgasreinigungsverfahren", présenté à la conférence Mullverbrennung und Rauch Gasreinigung, Berlin, novembre 1985.

13. Division of Air Resources, Bureau of Toxic Air Sampling. *Preliminary Report on Westchester Resco. Emission Source Test Report*, New York State Department of Environmental Conservation, 8 janvier 1986.

14. Eriksson K. et J. Bergstrom. "Flakt internal technical report MKS-85/107".

15. Clarke, M.J. "Emission control technologies for resource recovery", présenté au Symposium on Environmental Pollution in the Urban Area, Brooklyn Polytechnic University, mars 1986.

16. Hahn, Jeffrey L. *et. al.* "Air emission test of a Deutche Babcock Anlagen dry scrubber system at the Munich-North refuse-fired power plant", présenté au 78th Annual Meeting of the Air Pollution Control Association, 16 au 21 juin 1985, Detroit, MI.

ANNEXE

SYMBOLES, ABRÉVIATIONS ET HOMOLOGUES DES DIBENZODIOXINES ET DES DIBENZOFURANNES POLYCHLORÉS

Symboles et abréviations

Préfixes SI

Préfixe	Symbole	Facteur de multiplication		Forme exponentielle
méga	M	1 000 000	=	10^6
kilo	k	1 000	=	10^3
hecto	h	100	=	10^2
déca	da	10	=	10^1
unité	-	1	=	10^0
déci	d	0,1	=	10^{-1}
centi	c	0,01	=	10^{-2}
milli	m	0,001	=	10^{-3}
micro	µ	0,000 001	=	10^{-6}
nano	n	0,000 000 001	=	10^{-9}
pico	p	0,000 000 000 001	=	10^{-12}

Unités

Symbole	Unité	Observations
Masse		
g	gramme	-
t	tonne métrique	1 t = 1 Mg
lb	livre	1 livre = 453 592 g
Longueur		
m	mètre	-
pi	pied	1 pi = 0,3048 m
Volume		
L ou l	litre	-
m^3	mètre cube	1 m^3 = 1000 l
m^3N	mètre cube normal	aux conditions normales: 25 °C, 101,325 kPa
cm^3	centimètre cube	
pi^3	pied cube	1 pi^3 = 0,02832 m^3

Unités (suite)

Symbole	Unité	Observations
Temps		
s	seconde	-
mn	minute	1 mn = 60 s
h	heure	1 h = 3600 s
Température		
°C	degré Celsius	-
°F	degré Farenheit	-
Pression		
bar	bar	-
Pa	pascal	1 Pa = 10^{-5} bar

Sigles

ASME	American Society of Mechanical Engineers	
ASTM	American Society for Testing and Materials	
EPA	Environmental Protection Agency	Organisme américain Environnement Canada
PEENI	Programme national d'essais et d'évaluation des incinérateurs	
SPE	Service de la protection de l'environnement	

Abréviations propres à l'échantillonnage et à l'analyse

A-CQ	assurance-contrôle de la qualité
CPG	chromatographie en phase gazeuse
DCE	détecteur à capture d'électrons
DIM	détection d'ions multiples
EC	essai de caractérisation
EP	essai de performance

Abréviations (suite)

MM5	méthode modifiée 5
SM	spectrométrie de masse
XAD-2	type de résines utilisées pour la séparation

Composés

BPC	biphényles polychlorés
$Ca(OH)_2$	hydroxyde de calcium
CB	chlorobenzènes
CO	monoxyde de carbone
CO_2	dioxyde de carbone
CP	chlorophénols
HAP	hydrocarbures aromatiques polycycliques
HCl	chlorure d'hydrogène
$HClO_4$	acide perchlorique
HCT	hydrocarbures totaux
HNO_3	acide nitrique
H_2O	eau
HOT	halogénures organiques totaux
H_2SO_4	acide sulfurique
NaOH	hydroxyde de sodium
Na_2SO_4	sulfate de sodium
O_2	oxygène
PST	particules en suspension totales
SO_2	dioxyde de soufre (anhydride sulfureux)

Métaux

Ag	argent
Al	aluminium
As	arsenic
B	bore
Ba	baryum
Be	béryllium
Bi	bismuth
Ca	calcium
Cd	cadmium
Co	cobalt
Cr	chrome
Cu	cuivre
Fe	fer

Métaux (suite)

Hg	mercure
K	potassium
Mg	magnésium
Mn	manganèse
Mo	molybdène
Na	sodium
Ni	nickel
P	phosphore
Pb	plomb
Sb	antimoine
Se	sélénium
Si	silicium
Sn	étain
Te	tellure
Ti	titane
V	vanadium
Zn	zinc

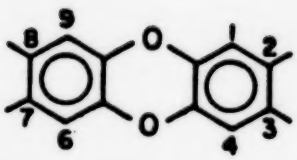
Divers

°	degré (angle ou température)
±	plus ou moins
<	plus petit que
>	plus grand que
N.D.	non décelé
ppm	parties par million
S.O.	sans objet
T.I.	tirage induit (ventilateur)

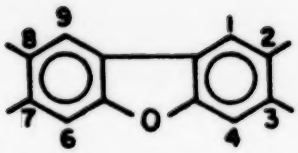
Dibenzodioxines et dibenzofurannes polychlorés

Les dibenzodioxines polychlorées* (DDPC) forment une famille de composés formés de deux anneaux de benzène réunis par deux atomes d'oxygène et comportant entre 1 et 8 atomes de chlore dans les anneaux (voir figure). On compte 75 dioxines chlorées qui diffèrent par l'emplacement et le nombre des atomes de chlore. Les dibenzodioxines tétrachlorées (DDTC) sont les 22 isomères différents des dioxines à quatre atomes de chlore. L'isomère connu sous le nom de 2,3,7,8-DDTC présente des atomes de chlore substitués aux positions 2,3,7 et 8. Les dibenzofurannes polychlorés (DFPC) constituent une famille très sensible de composés chimiques qui ne diffèrent que par le fait qu'un seul des liens entre les noyaux de benzène contient un atome d'oxygène. La nomenclature des dibenzofurannes chlorés est analogue à celle des dibenzodioxines.

* Le nom chimique complet est: dibenzo-*para*-dioxine polychlorée ou dibenzo-p-dioxine polychlorée.



Dibenzodioxines polychlorées
(DDPC)



Dibenzofurannes polychlorés
(DFPC)

Homologues des dibenzo-*p*-dioxines polychlorées:

DDT4C	Dibenzo-*p*-dioxine tétrachlorée
DDP5C	Dibenzo-*p*-dioxine pentachlorée
DDH6C	Dibenzo-*p*-dioxine hexachlorée
DDH7C	Dibenzo-*p*-dioxine heptachlorée
DDO8C	Dibenzo-*p*-dioxine octachlorée

Homologues des dibenzofurannes polychlorés:

DFT4C	Dibenzofuranne tétrachloré
DFP5C	Dibenzofuranne pentachloré
DFH6C	Dibenzofuranne hexachloré
DFH7C	Dibenzofuranne heptachloré
DFO8C	Dibenzofuranne octachloré

GLOSSAIRE

Carneau. - Conduit qui relie un foyer, une chaudière, etc. à une cheminée.

Eau régale. - Mélange d'acide chlorhydrique à 35 % et d'acide nitrique à 65 % dans un rapport de 3 à 1.

Pondéral. - Relatif au poids.

Pondéré. - Équilibré. Attribution d'une valeur particulière à certains éléments d'un indice qui leur redonne une place proportionnelle à leur importance réelle.

Rapport inédit. - Nouveau rapport, rapport qui n'a pas encore été publié.

Résultats ventilés. - Résultats répartis en plusieurs groupes.